Die Orientierung der Feuerwanze

(Pyrrhocoris apterus L.)

nach Licht- und Magnetfeldreizen

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Reiner Uloth

aus Kassel

Göttingen 1974

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534919_0014

Die Orientierung der Feuerwanze (Pyrrhocoris apterus L.) nach Licht- und Magnetfeldreizen

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Reiner Uloth
aus Kassel

Göttingen 1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

D 7
Referent: Prof. Dr. G. Birukow
Korreferent: Prof. Dr. W. Funke

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Mai 1974

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	EINLEITUNG	1
2	MATERIAL UND METHODEN	2
2.1	Die Versuchstiere und ihre Haltung	2
2.2	Allgemeine Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung	3
2.2.1	Feststellen der Sitzrichtung	5
3	ERGEBNISSE	7
3.1	Versuch 1 (Grundversuch)	7
3.1.1	Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung	7
3.1.2	Ergebnisse Versuch 1	8
3.1.2.1	Lichtbezogene Sitzrichtungen	8
3.1.2.2	Bewegungsaktivität	11
3.1.2.3	Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit	11
3.1.2.4	Links-Rechts-Bevorzugung	14
3.1.2.5	Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz	16
3.1.2.6	Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen	20
3.2	Versuch 2 (Zylinderabdunkelung)	21
3.2.1	Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung	22
3.2.2	Ergebnisse Versuch 2	23
3.2.2.1	Lichtbezogene Sitzrichtungen	23
3.2.2.2	Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen	25
3.2.2.3	Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit	26
3.2.2.4	Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz	27
3.3	Versuch 3 (Kontrollversuch)	29
3.3.1	Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung	29

3.3.2	Ergebnisse Versuch 3	30
3.3.2.1	Lichtbezogene Sitzrichtungen	30
3.3.2.2	Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen	32
3.4	Versuch 4 (Magnetschirmversuch 1)	32
3.4.1	Besondere Versuchsdurchführung und Versuchsanordnung	34
3.4.2	Ergebnisse Versuch 4	35
3.5	Versuch 5 (Magnetschirmversuch 2)	36
3.5.1	Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung	36
3.5.2	Ergebnisse Versuch 5	38
4	DISKUSSION (Gesamtbefund und Besprechung)	39
4.1	Versuchsanordnung	39
4.2	Lichtbezogene Sitzrichtungen	40
4.3	Vorzugsrichtungen orientierter Tiere	47
4.4	Magnetfeldeinfluß im Tierreich	48
4.5	Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen bei Pyrrhocoris apterus L.	49
4.6	Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz	53
4.7	Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit	54
5	ZUSAMMENFASSUNG	55
6	Literaturverzeichnis	56
7	Tabellen	61
8	Abbildungen	62

1 EINLEITUNG

Im Sommer findet man häufig unter alten Linden Ansammlungen von Feuerwanzen. Beobachtet man die Tiere, so fällt auf, daß sie oft längere Zeit ruhig sitzen. Die Sitzrichtung wird dabei entweder von ersichtlichen lokalen Gegebenheiten wie Aststückchen oder Sonneneinstrahlung beeinflußt, oder sie scheint beliebig zu sein.

Bei verschiedenen Tierarten wurde der Einfluß magnetischer Felder auf die Orientierung vermutet und zum Teil nachgewiesen, so bei Planarien (BROWN 1962), Regenwürmern (BENNET u. HUGUENIN 1969), Schlammschnecken (BARNWELL u. BROWN 1961; BROWN, WEBB u. BARNWELL 1964; BROWN, BARNWELL u. WEBB 1964), Maikäfern (SCHNEIDER 1957, 1960a+b, 1963a+b), verschiedenen Dipterenarten (BECKER 1963a; BECKER u. SPECK 1964), Termiten (BECKER 1963b), Taufliegen (WEHNER u. LABHART 1970), Honigbienen (LINDAUER u. MARTIN 1968), Rotkehlchen (FROMME 1961; MERKEL u. WILTSCHKO 1965; WILTSCHKO 1968; WILTSCHKO, HÖCK u. MERKEL 1971). So ist es denkbar, daß auch Feuerwanzen vom Verlauf der magnetischen Feldlinien in ihrer Sitzrichtung beeinflußt werden.

Seit 1923 (HERTER) ist bekannt, daß Feuerwanzen in der Temperaturorgel +28° C bevorzugen. Diese Vorzugstemperatur wird aktiv aufgesucht. Feuerwanzen trifft man daher im Freiland besonders häufig im Sonnenschein sitzend an. Wie orientieren sich Feuerwanzen unter Laborbedingungen bei nicht optimaler Temperatur (unter +28° C) zu einer nicht wärmenden Lichtquelle?

Diesen beiden Fragen, dem Einfluß einer wärmeunwirksamen Lichtquelle und dem Einfluß magnetischer Kraftlinien auf die Sitzrichtung der Feuerwanze, wird im folgenden nachgegangen.

Während bei Untersuchungen zur Orientierung mit wenigen Ausnahmen immer vom bewegten Tier ausgegangen wird, soll im vorliegenden Fall das ruhig sitzende Tier auf bevorzugte Orientierungsrichtungen untersucht werden. Dabei zeigte sich im Verlauf der Untersuchungen, daß es offensichtlich "unterschiedliche Ruhezustände" für die Versuchstiere gibt, die auch "unterschiedliches Orientierungsverhalten" zur Folge haben.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Die Versuchstiere und ihre Haltung

Alle Versuche sind mit ausgewachsenen Feuerwanzen (Pyrrhocoris apterus L.) durchgeführt. Die Stammtiere wurden in Göttingen/Nikolausberg gefangen. Haltung und Zucht der Tiere sind einfach.

Ein 3/4-Liter Einweckglas wird knapp 1 cm hoch mit Lindensamen (Tilia cordata; Lieferant: Eichenberg und Co., Gehölzsamen GmbH, 876 Miltenberg/Main) gefüllt. Dazu kommt ein Glaszylinder, 80 mm hoch und 25 mm im Durchmesser, voll Wasser. Er ist durch einen Wattepfropf verschlossen. Dieser Pfropf ist so gewählt, daß das Wasser gerade nicht ausfließen kann. Über die Öffnung des Einweckglases wird als Verschluß ein Stück Perlonstrumpf gespannt.

Während des ersten Jahres standen die Zuchtgläser ohne besondere Vorkehrungen in meinem Arbeitszimmer. Danach und während der Versuche benutzte ich einen Thermostaten, eingestellt auf 25-28° C, 12/12-std L/D-Wechsel, bzw. von 4 Wochen vor den Versuchen bis zum jeweiligen Versuchsabschluß eingestellt auf Dauerhell.

Je nach Verschmutzung wurde alle 4 bis 8 Wochen der Lindensamen in den Zuchtgläsern erneuert; Wasser wurde regelmäßig alle 8 Tage nachgefüllt.

Auf diese Weise habe ich die Zucht über 4 Jahre lang mit 50 bis 2000 Tieren gleichzeitig gehalten; pro Glas 30 bis 150 Tiere. Reguliert wurde der Bestand durch häufigeres oder weniger häufiges Wechseln der Lindensamen. Die Schlupfquote erhöht sich, wenn man den Lindensamen angefeuchtet hält.

Gibt man ein gefaltetes Stück Filtrierpapier in das Zuchtglas, so werden dahinein die Eier bevorzugt abgelegt. Paßt man den Augenblick ab, in dem Männchen und Weibchen nach der Kopulation auseinandergehen und setzt das Weibchen sofort in eine Petrischale, so werden die Eier kurze Zeit später, meist in der Mitte des Schalenbodens, abgelegt. Dabei habe ich zwischen 8 und 50 Eiern pro Tier gezählt; zumeist waren es etwa 30 Eier.

(Vergleiche dazu auch: GUTHERZ 1921, HENKE 1924, HERTER 1923 und 1924, LUDWIG 1931, SEIDEL 1924, SCHULZE 1916.)

2.2 Allgemeine Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

In der Mitte des Versuchsraumes liegt waagerecht (Wasserwaage) in Tischhöhe eine quadratische Holzspanplatte mit der Kantenlänge 210 cm (Abb. 1). Vom Zentrum dieser Holzspanplatte ausgehend, sind drei konzentrische Kreise aufgetragen, mit den Radien: 50 cm, 75 cm, 100 cm. Alle drei Kreise sind im Abstand von 10° durchgehend markiert. Die Markierungspunkte pro Kreis sind fortlaufend von 1 bis 36 benannt. Jeweils von Platz 36 aus liegt die Lichtquelle im Norden, von Platz 9 im Westen, von Platz 18 im Süden, und so sinngemäß weiter.

Bei jedem Markierungspunkt wird eine Petrischale mit Deckel aufgesetzt. Dieser Verschluß schließt Orientierungshilfen durch bewegte Luft aus und verhindert ein Entweichen der Tiere.

Die Petrischalen sind aus klarsichtigem Plastikmaterial und haben einen Durchmesser von 6 cm, bei einer Höhe von 1,5 cm. Über dem Zentrum der Spanplatte hängt von der Zimmerdecke eine elektrische Zuleitung mit Fassung, in die Glühlampen unterschiedlicher Stärke eingeschraubt werden können. Die Spitze der Glühlampe schwebt dann 10 cm über der Spanplatte. Diese Höhe wird für alle Versuche beibehalten, um keine unkontrollierten Reaktionen zu erhalten. BIRUKOW (1955 und 1956) fand bei Arthropoden Hinweise sowohl für ein Reagieren, als auch für Gleichgültigkeit auf Veränderungen in der Höhe der orientierenden Lichtquelle.

Eine Wärmestrahlung war auf den Versuchsplätzen von dieser Glühlampe nicht feststellbar. Auf jedem Platz eines Kreises um die zentrale Lichtquelle ist die Helligkeit gleich groß, die Himmelsrichtungen zu ihr sind jedoch von Versuchsplatz zu Versuchsplatz um 10° verschoben. Bei größerem Radius des Versuchskreises nehmen die Helligkeit und der Höhen- und Breitenwinkel ab, unter dem die Glühlampe gesehen wird.

Bei Versuchsbeginn wird in jede Petrischale eine Feuerwanze gesetzt. In dem gut verdunkelten Versuchsraum wird alles Licht gelöscht. Nur die Glühlampe über dem Zentrum der Spanplatte leuchtet. Die Tiere haben eine Stunde lang Zeit, sich einzugewöhnen. Nach dieser Stunde wird von jedem Tier, das ruhig sitzt, die Sitzrichtung festgestellt.

Als ruhig gelten Tiere, die vor und während des Messens insgesamt mindestens 20 Sekunden lang ohne Richtungsänderung auf dem gleichen Platz sitzen. Bei den bewegten Tieren wird ver-

merkt, ob sie links oder rechts herum im Kreise laufen, oder ob sie sich bewegen ohne erkennbare Richtung, z.B. strampelnd auf dem Rücken liegen.

Die Ergebnisse werden vom Versuchsplatz auf Tonband gesprochen und später übertragen. Es dauert 10 bis 15 Minuten, bis die Daten für alle 108 Versuchsplätze (3x36) aufgenommen sind.

2.2.1 Feststellen der Sitzrichtung

Die Sitzrichtung wird in einem Teil der Versuche bezogen auf die zentrale Lichtquelle gemessen, bei den anderen Versuchen wird bezogen auf das Magnetfeld gemessen.

Um die Sitzrichtung bezogen auf die Lichtquelle direkt feststellen zu können, habe ich die folgende Meßvorrichtung entworfen und gebaut:

Im Zentrum der Spanplatte, direkt unter der Glühlampe, steckt eine Nadel so tief, daß nur der dicke Glaskopf auf einem kurzen Nadelhals herausragt. Um diesen Nadelhals ist ein Zwirnsfaden beweglich befestigt. Der Faden ist etwas länger als ein Meter. Wenn ich sein freies Ende in der Hand halte und um die Platte herumgehe, weist er immer zum Zentrum der Spanplatte, wo er ja befestigt ist.

An dem freien Ende, das ich in der Hand halte, habe ich eine Plexiglas-Kreisscheibe (Marke: Aristo Centograph 1501) aufgefädelt. Diese Kreisscheibe hat 360°-Einteilung, 10 cm Durchmesser und ein feines Loch im Zentrum, um den Faden hindurchzustecken.

In ca. 50 cm Höhe, direkt über der zu messenden Feuerwanze, bringe ich die Nullinie im Zentrum der Kreisscheibe mit der Körperlängsachse der Feuerwanze durch Peilung zur Deckung.

Der Kopf des Tieres weist dabei auf den 0/360°-Punkt der Kreisscheibe. An dem im Zentrum der Spanplatte befestigten Faden als Zeiger, lese ich auf der Kreisscheibe die Winkelgröße zwischen Sitzrichtung und Lichtquelle ab.

Eine Feuerwanze, die mit dem Kopf direkt zum Licht zeigt, bekommt so die Meßzahl 0/360°. Sitzt sie um einen rechten Winkel versetzt, und wendet sie die rechte Flanke dem Licht zu, heißt die Meßzahl 90, ist es die linke Flanke 270, und wendet sie sich genau vom Licht ab, heißt die Meßzahl 180. Die anderen Sitzrichtungen gelten sinngemäß.

Um die Sitzrichtung bezogen auf das Magnetfeld direkt festzustellen, habe ich einen Wilkie-Marschkompaß mit 360°-Einteilung benutzt. Das Verfahren entspricht dem vorherigen und ist sonst das gleiche wie beim Feststellen der Marschrichtungszahl im Gelände: es gibt die Winkeldifferenz zur Nord-Feldlinie an.

Die abgelesenen Winkelgrößen werden zu den vollen Zehnerwerten auf- oder abgerundet. Liegt der Wert genau in der Mitte, wird erneut gemessen. Bringt das trotzdem keine Entscheidung, wird aufgerundet. So erhalte ich für die 360 Grade des Kreises 36 mögliche Sitzrichtungen.

Durch die Rückenzeichnung der Feuerwanzen ist es leicht, die Körperachse festzustellen. Testversuche ergaben bei wiederholter Messung am selben Tier nur geringe Abweichungen. Bei den Kompaßmessungen liegen die Abweichungen bei 0 bis $\pm$ 3°, bei Messungen mit der Kreisscheibe unter $\pm$ 1°. Im letzteren Fall ist hauptsächlich die Stärke des Fadens für den Fehler verantwortlich. Dagegen kommen bei der Kompaßmessung einige Fehlerquellen zusammen. Einmal ist die Kompaßnadel auch an der Spitze ziemlich breit bei enger Gradeinteilung (Skalendurchmesser des Kompasses 45 mm). Zum anderen ist auch der Richtungspfeil, an dem letztlich abgelesen wird, breit. Außerdem wird die Kompaßnadel leicht etwas mitgedreht, wenn man den Kompaß nicht ganz waagerecht hält.

3 ERGEBNISSE

3.1 Versuch 1 (Grundversuch)

3.1.1 Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung wie unter 2.2 beschrieben. Gemessen wird bezogen auf eine 100 Watt Glühlampe im Zentrum der Arena. Es stehen auf allen drei Versuchskreisen jeweils 36 Petrischalen mit je einem Versuchstier.

Nach Versuchsbeginn wird eine Stunde lang gewartet und dann Messung 1 durchgeführt. Danach wird, ohne etwas zu verändern, eine weitere Stunde lang gewartet und dann Messung 2 durchgeführt. Ich erhalte so von allen 108 Versuchstieren zwei Ergebnisse, die sich in den Versuchsbedingungen durch eine zusätzliche Stunde Ruhezeit unterscheiden. Pro Tag wird eine Versuchsreihe dieser Art durchgeführt.

Nach 30 Versuchstagen bei 100 Watt folgt genau die gleiche Versuchsserie mit einer Glühlampe 40 Watt im Zentrum.

An diesen Versuchen waren insgesamt 2000 Tiere beteiligt. Davon sind in der Versuchszeit 1002 Tiere, nachdem sie gerade ausgefärbt waren, neu hinzugekommen. Ihr Geschlechtsverhältnis betrug 521 Männchen zu 481 Weibchen. Trotzdem haben während der Versuche die Männchen stärker überwogen, da die Weibchen früher starben. HENKE (1924) fand demgegenüber schnellere Entwicklung und früheren Tod bei Feuerwanzenmännchen.

Ich habe darauf geachtet, daß an den Versuchen Männchen und Weibchen gleich verteilt beteiligt waren, und erst, nachdem alle Versuchstiere einmal in den Versuchsschälchen gesessen

hatten, wurden sie zum zweiten, bzw. nächsten Mal eingesetzt.

Die Versuche wurden bei einer Raumtemperatur von 23 ± 1° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 42 und 51 %, überwiegend jedoch bei 48 %, durchgeführt.

Diese Angaben beziehen sich auf das Raumklima, gemessen am Rand der Versuchsarena. Da die Tiere in geschlossenen Petrischalen saßen, können die Werte dort im Lauf des Versuches davon abweichen.

Die 40 Watt Glühlampe der zweiten Versuchsreihe war so gewählt, daß die Beleuchtungsstärken im Anschluß an den 100-Watt-Versuch sinngemäß weitergeführt wurden (s. Tab. 1, Spalte 3 Diese Luxwerte schwankten durch unterschiedliche Netzspannungen bis zu ± 20 %.

3.1.2 Ergebnisse Versuch 1

3.1.2.1 Lichtbezogene Sitzrichtungen

Es liegen 12 Häufigkeitsverteilungen der Sitzrichtungen vor (40 Watt 100 cm 1, 40 Watt 100 cm 2, 40 Watt 75 cm 1 ... 100 Watt 50 cm 2), die alle darin übereinstimmen, daß lichtabgewandte Sitzrichtungen bevorzugt wurden. Durchweg liegt der Gipfelwert der Verteilung bei 180°; das ist die Sitzrichtung genau abgewandt vom Licht. Dieser Gipfel verstärkt sich mit zunehmender Beleuchtungsstärke (s. Tab. 1, Spalte 9).

Beiderseits dieses Hauptgipfels, etwa bei 130° und 230°, liegen Nebengipfel, also wiederum Sitzrichtungen, die besonders häufig eingenommen wurden. Bei diesen Nebengipfeln beeinflußt die Beleuchtungsstärke die Lage: Je stärker das Licht wird, desto weiter rücken sie auseinander.

Zusammenfassend sind in Abb. 2 die Häufigkeiten der verschiedenen Sitzrichtungen aller Tiere bei 40 Watt dargestellt, in Abb. 3 die Häufigkeiten der verschiedenen Sitzrichtungen aller Tiere bei 100 Watt. Dabei erscheinen die Nebengipfel breiter und flacher als in den Einzelkurven. Zum Vergleich betrachte man Abb. 4, die Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen, nur von dem Versuchskreis mit 50 cm Radius. Diese Verteilung ist z.B. in Abb. 2 enthalten.

Obwohl die Nebengipfel bei 130° und 230° auch in den Einzelverteilungen nur selten so scharf abgesetzt sind wie der Hauptgipfel bei 180°, kommen durch die Zusammenlegung doch besonders breite und flache Nebengipfel zustande, infolge ihrer leichten Verschiebung von Einzelverteilung zu Einzelverteilung. Als Maß der Abhängigkeit ihrer Lage von der Beleuchtungsstärke sei deshalb auch auf das Minimum zwischen Haupt- und Nebengipfel hingewiesen, das im 40-Watt-Versuch 20°, im lichtstärkeren 100-Watt-Versuch jedoch 30° beiderseits des Hauptgipfels liegt.

Die wenigsten ruhigen Tiere finden sich mit dem Kopf direkt in Richtung Glühlampe sitzend; genauer gesagt, 10° nach links oder rechts daneben zeigend.

Etwa bei 50° und 320° zeigen sich zwei weitere kleinere Nebengipfel, deren relative Höhe von der Entfernung des Versuchsplatzes zur Glühlampe abhängt, und deren Lage bis zu ± 20° schwankt. Auf dem 50-cm-Versuchskreis (s. Abb. 4) erreichen diese Nebengipfel überdurchschnittliche Werte, auf dem 75-cm-Versuchskreis erreichen sie noch beinahe die Durchschnittswerte, auf dem 100-cm-Versuchskreis immer unterdurchschnittliche Werte. Auch zusammengenommen erreichen sie nur unterdurchschnittliche Werte (s. Abb. 2 und 3). Ein Beispiel für die gute Ausbildung gerade dieser Nebengipfel ist Abb. 4.

Es gibt noch ein weiteres Gipfelpaar, also wieder besonders häufig gewählte Sitzrichtungen, das etwa bei 90° und 270°

liegt (z.B. in Abb. 4 bei 80° - 100° und bei 260°). Diese Gipfel erscheinen nicht immer, verschmelzen zuweilen mit den Gipfeln um 130° und 230°, markieren aber in der Mehrzahl der Fälle den Übergang von den überdurchschnittlich häufig gewählten lichtabgewandten Sitzrichtungen zu den unterdurchschnittlich häufig gewählten lichtzugewandten Sitzrichtungen.

Vergleicht man die Summe aller Sitzrichtungen in den lichtabgewandten Halbkreis (100° - 270°) mit den Sitzrichtungen in den lichtzugewandten Halbkreis (280° - 90°), so ergibt sich in Prozentzahlen ausgedrückt, daß im 40-Watt-Versuch 55,2 %, im lichtstärkeren 100-Watt-Versuch aber 57,9 % der Feuerwanzen lichtabgewandte Sitzrichtungen bevorzugten. Es werden demnach nicht nur allgemein lichtabgewandte Sitzrichtungen bevorzugt, sondern sie werden mit stärkerem Lichteinfluß auch stärker bevorzugt.

Tabelle 1, Spalte 7 + 8, gibt eine Aufstellung der bevorzugten Sitzrichtungen pro Versuchskreis, zusammengefaßt in lichtabgewandten Halbkreis und lichtzugewandten Halbkreis; letzterer wurde nicht extra aufgeführt, da er leicht zu ergänzen ist. Vergleicht man die einzelnen Ergebnisse miteinander, fällt sofort ein Widerspruch auf. Zum einen zeigt sich bei Verstärkung der Lichtintensität durch die stärkere zentrale Glühlampe, 40 Watt - 100 Watt, für jeden Versuchskreis eine verstärkte Hinwendung zu lichtabgewandten Sitzrichtungen. Zum anderen scheint jedoch bei Verstärkung der Lichtintensität durch einen der Glühlampe näheren Versuchskreis, 100 cm - 75 cm - 50 cm, das genaue Gegenteil einzutreten. Damit steht vermutlich auch das Auftauchen der Nebengipfel bei 50/320° im Zusammenhang.

Bei anderen Versuchen (Versuch 3) erscheinen diese Gipfel nicht, und hier ergibt sich die erwartete Reaktion, daß auch bei Erhöhung der Beleuchtungsstärke durch Versuchskreise näher an der Glühlampe, lichtabgewandte Sitzrichtungen immer häufiger gewählt werden (s. Tab. 2, Spalte 7 + 8).

3.1.2.2 Bewegungsaktivität

Wenn die Stärke des Lichtes im Versuchszentrum Einfluß auf die Sitzrichtung hat, kann vermutet werden, daß sie ebenfalls Einfluß auf die Bewegungsaktivität hat. Als Kriterium gilt, ob die Tiere zur Meßzeit ruhig saßen, also einen Meßwert lieferten, oder nicht.

Eine Aufstellung aller Ruhewerte, geordnet nach Beleuchtungsstärke, gibt Tabelle 1, Spalte 5 + 6.

Bis auf einen Wert, nämlich den für 40 Watt 75 cm (oder 40 Watt 100 cm), zeigt sich ein kontinuierlicher Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Bewegungsaktivität. Je höher die Beleuchtungsstärke, desto häufiger bewegen sich die Tiere zur Meßzeit, bzw. desto weniger Tiere sitzen zur Meßzeit ruhig. In dem untersuchten Bereich hatte sich dabei die Bewegungsaktivität, also die Anzahl bewegter Tiere zur Meßzeit, annähernd verdoppelt. Dabei war es gleichgültig, ob die Zunahme der Beleuchtungsstärke durch eine stärkere Glühlampe erzielt wurde, oder ob bei gleicher Glühlampe durch einen geringeren Abstand zu ihr die Beleuchtungsstärke erhöht wurde.

3.1.2.3 Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit

Wie unter 3.1.1 (Spezielle Versuchsdurchführung) erwähnt, wurde die Sitzrichtung von jedem Tier zweimal am gleichen Versuchsplatz aufgenommen. Zum ersten Mal, nachdem eine Stunde seit dem Einsetzen vergangen war, zum zweiten Mal nach einer weiteren Stunde Ruhezeit. In Abb. 5 sind alle Messungen 1, in Abb. 6 alle Messungen 2 zusammengefaßt.

Vergleicht man die beiden Häufigkeitsverteilungen miteinander, so ergibt sich, daß die zweite insgesamt geglätteter erscheint, wenngleich die Aufteilung in lichtabgewandte

und lichtzugewandte Sitzrichtungen weiter fortgeschritten ist. Bei Messung 1 saßen 56,1 %, bei Messung 2 saßen 57,0% der Tiere in einer Richtung des lichtabgewandten Halbkreises. Doch sind die Extremwerte, insbesondere der Gipfel bei 180°, in der ersten Messung deutlich ausgeprägter.

Bei Messung 1 saßen bei 6480 Einzelmessungen 5575 (86,0 %) Tiere ruhig, bei Messung 2 saßen bei ebenfalls 6480 Einzelmessungen 5492 (84,8 %) Tiere ruhig.

Da vor Messung 1 die Tiere bereits eine Stunde lang in den Versuchsschälchen saßen, muß angenommen werden, daß sie auch bei Messung 1 an das Licht voll adaptiert waren. Die Adaptation des Insektenauges erfolgt oft außerordentlich rasch und kann schon nach Sekunden erreicht sein (AUTRUM u. SEIBT, 1965; HAMDORF u. KASCHEF, 1965). Demgegenüber ist die Anpassung an wechselnde Lichtverhältnisse durch retinomotorische Verschiebungen ein lange andauernder Prozeß, der bei Notonecta glauca L. z.B. nahezu eine Stunde in Anspruch nimmt (LÜDTKE, 1953).

Veränderte Sitzrichtungen oder Aktivitätsveränderungen können demnach ihre Ursache primär weniger in unterschiedlicher Adaptation des Auges haben, also in einer Änderung der Empfindlichkeit der Sehzellen, als vielmehr durch retinomotorische Verschiebungen bewirkt sein; vorausgesetzt, daß sie sich überhaupt auf diese Vorgänge im Auge der Feuerwanzen zurückführen lassen.

Da es sich um die gleichen Tiere am gleichen Platz handelt, unterschieden nur durch eine weitere Stunde Ruhezeit, liegt die Frage nahe, wie denn die Tiere im einzelnen während dieser Stunde ihre Richtung änderten. Dazu habe ich von sämtlichen Feuerwanzen, die sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Messung ruhig saßen, die Winkeldifferenz zwischen erster und zweiter Sitzrichtung errechnet.

Diese Winkeldifferenz gibt also die Änderung der Sitzrichtung für jeweils ein bestimmtes Tier an. Tiere, die bei der ersten und zweiten Messung in gleicher Richtung saßen, und die Winkeldifferenz 0° zeigen, können aber inzwischen sehr wohl auch in anderen Richtungen gesessen haben. Nur die beiden tatsächlichen Meßwerte sind berücksichtigt worden.

Außerdem habe ich immer nur den kleinstmöglichen Unterschiedswinkel angenommen. Dadurch kann die größte Winkeldifferenz nur noch 180° ausmachen. Zusammengefaßt für alle Messungen ergibt sich das Bild der Abb. 7.

Am häufigsten finden sich Feuerwanzen in der Klasse mit 0° Abweichung zwischen erster und zweiter Messung. Diese Tiere saßen auch nach einer Stunde noch oder wieder in der gleichen Richtung wie zuvor. Daneben kann man die Gruppe der Tiere herausgreifen, die ihre Sitzrichtung nach einer Stunde um 10° - 30° geändert haben. Und zuletzt bleiben die Tiere, die ihre Sitzrichtung um 40° - 180° verändert haben. Die Richtungsänderungen zwischen 40° und 180° kommen annähernd gleich häufig vor, während solche um 30°, 20° und 10° in dieser Reihenfolge deutlich häufiger gewählt werden; weitaus am häufigsten finden sich jedoch Tiere, die in der gleichen Richtung wie zuvor sitzen (0° Änderung).

Bis auf die Häufigkeiten für 0° und 180° können die Richtungsänderungen sowohl nach links als auch nach rechts erfolgen. Ich habe deshalb für alle drei Versuchskreise, getrennt für die Glühlampen 40 Watt und 100 Watt, also insgesamt in 6 Gruppen, die Richtungsänderungen nach links und rechts aufgeschlüsselt.

Es zeigte sich, daß alle 6 Verteilungen untereinander so weit übereinstimmen, daß sich auch im Einzelfall nichts an dem Bild der Abb. 7 ändert. Doch wurde durch die Aufschlüsselung deutlich, daß sich bei 180° ein kleiner Gipfel ergibt, da die Klassen 10° - 170° der Abb. 7 in links und rechts aufgeteilt werden, was einer Halbierung gleichkommt. Dagegen können die

Klassen 0° und 180° nicht in links und rechts aufgeteilt werden, wodurch sie erheblich an Gewicht gewinnen. Mit anderen Worten, nach einer Stunde Ruhezeit saßen von 5049 Tieren 989 noch oder wieder in der gleichen Richtung, zusammen 1499 Tiere saßen um 10° - 30° versetzt, der Rest verteilt sich annähernd gleichmäßig auf die anderen Sitzrichtungen, wobei gegen 180° eine ansteigende Tendenz deutlich wird, und die genaue Umkehr der Sitzrichtung (Änderung um 180°) besonders häufig vorkommt. Daraus ergibt sich, daß die Tiere die einmal gewählte Sitzrichtung bevorzugt beibehalten und allenfalls durch kleine Richtungskorrekturen (10° - 30°) "verbessern". Kommt es jedoch zu einer Neueinstellung der Sitzrichtung, so wird diese neue Sitzrichtung unabhängig von der zuvor gewählten über das ganze Kreisspektrum gesucht und allenfalls die genaue Umkehr der zuvor eingenommenen Sitzrichtung bevorzugt.

3.1.2.4 Links-Rechts-Bevorzugung

Im vorigen Abschnitt wurde festgestellt, daß Änderungen der Sitzrichtung nach links genau so oft wie nach rechts vorkommen. Die genauen Zahlen sind 2126 Linkswendungen gegenüber 2046 Rechtswendungen. Das ergäbe vielleicht doch eine kleine Bevorzugung für links. Jedoch ist diese Bevorzugung einmal relativ klein, zum anderen auf Grund der Verrechnung äußerst vage; z.B. würde eine 350°-Rechtsdrehung nach dem Verrechnungsmodus als 10°-Linksdrehung verzeichnet.

Während der Versuche wurde bei insgesamt 734 bewegten Feuerwanzen die Laufrichtung festgestellt. Diese Tiere liefen am Innenrand der Versuchsschälchen im Kreis herum. Eine Aufstellung für diese Tiere, getrennt nach Versuchskreis und Lichtstärke, sei nachfolgend gegeben:

Zentrale Glühlampe:	40 Watt			100 Watt			Zusammen
Versuchskreisradius cm:	100	75	50	100	75	50	
Laufrichtung links:	41	57	83	55	65	89	390
Laufrichtung rechts:	40	48	61	48	70	77	344

Daraus ergibt sich (bis für 100 Watt 75 cm) immer ein Übergewicht für Linksläufe, so daß auch als Gesamtergebnis eine Bevorzugung links vor rechts besteht.

In diesem Zusammenhang soll noch eine weitere Frage erörtert werden. Wie verhalten sich Tiere, die bei der ersten und bei der zweiten Messung in einer bestimmten Richtung liefen? Haben sie ihre Richtung geändert oder beibehalten?

Aus allen Versuchen sind es zusammen 65 Tiere, die sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Messung in einer bestimmten Richtung liefen. Sie verteilen sich wie folgt auf die denkbaren Möglichkeiten:

links-links	links-rechts	rechts-links	rechts-rechts
22	17	9	17

Damit stehen 39 Tieren, die in beiden Fällen in die gleiche Richtung liefen, nur 26 gegenüber, die ihre Laufrichtung änderten. Und sowohl Tiere, die zunächst nach links liefen, als auch solche, die zunächst nach rechts liefen, verblieben häufiger bei ihrer einmal eingeschlagenen Richtung, als daß sie diese änderten. Immerhin sind Änderungen in der Laufrichtung möglich. Ein individueller Zwang für eine bestimmte Laufrichtung ergibt sich daraus also nicht, wohl aber insgesamt die Neigung, Linksrichtungen zu bevorzugen und die einmal aufgenommene Laufrichtung, gleich ob links- oder rechtsherum, beizubehalten.

3.1.2.5 Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz

Im folgenden sind die Ruhehäufigkeiten für sämtliche Versuchsplätze zusammengestellt worden. Dabei wurde einzig danach gefragt, wie viele Ruhewerte, also ruhig sitzende Tiere, von jedem Versuchsplatz kommen. Gleichgültig war dabei, welche Sitzrichtung im einzelnen eingenommen wurde.

Es zeigte sich, daß bei allen Versuchsreihen kein Platz überdurchschnittlich viele oder wenige Ruhewerte aufzuweisen hatte. Die Abweichungen vom gemeinsamen Mittelwert sind Platz für Platz Null oder beinahe Null. Allein das Häufigkeitsniveau ändert sich entsprechend der unterschiedlichen Lichtintensität der einzelnen Versuchskreise. Mit anderen Worten, kein Versuchsplatz unterlag Einwirkungen, die ein Ruhigwerden der Tiere merklich verhindert oder begünstigt hätte.

Nun gibt es bei allen Versuchen etwa 1000 Tiere (s. Abb. 7), deren Ruherichtung nach einer Stunde Wartezeit die gleiche ist wie zuvor. Aufgeteilt auf die 6 Versuchsreihen, aus denen sie kommen (40 Watt 100 cm 1, ... 100 Watt 50 cm 2), ergäbe sich eine erwartete Häufigkeit von unter 5 pro Klasse (1000 : 6 : 36!). Deshalb wurden sie zusammengefaßt, und zwar so, daß alle Versuchsplätze mit der gleichen Platznummer (s. Abb. 1) zusammenfallen. Das sind dann zugleich die Versuchsplätze, die von der zentralen Glühlampe aus gesehen, in der gleichen Fluchtlinie liegen.

Bei diesen 1000 Tieren zeigt sich auf einmal eine starke Differenzierung der Ruhehäufigkeiten pro Versuchsplatz. Für diese Tiere war es nicht gleichgültig, auf welchem Versuchsplatz sie saßen.

Zum besseren Vergleich wurden die anfangs betrachteten Gesamtruhehäufigkeiten in die gleichen 36 Sammelklassen zusam-

mengefaßt und dann mit X^2 beide Häufigkeitsverteilungen auf Gleichverteilung geprüft. Wie erwartet, sind die Ruhehäufigkeiten der Tiere insgesamt gleichverteilt. Bei einem X^2 von 7,7 liegt die Sicherheit dafür bei über 99 %. Dagegen erreicht die Verteilung der Ruhehäufigkeiten von den auch nach einer Stunde Wartezeit in gleicher Richtung sitzenden Tieren ein X^2 von 38,0. Das bedeutet eine Sicherheit von 30 % für Gleichverteilung, und damit ist es wahrscheinlicher, daß diese Ruhehäufigkeiten nicht gleichverteilt sind (Abb. 8).

Betrachtet man Abb. 8 eingehender, so deutet sich eine zweiseitige Symmetrie an, mit der Geraden 360^o- 180^o als Symmetrieachse. Diese Symmetrie ist zwar nicht absolut, andererseits aber so ausgeprägt, daß sie nicht übersehen werden kann.

Die Ruhehäufigkeitsverteilung der Tiere, die auch nach einer weiteren Stunde Ruhezeit noch die gleiche Sitzrichtung haben, hat demnach zwei Eigenschaften: sie läßt sich nicht als Gleichverteilung sichern, und sie deutet hin auf eine zweiseitige Symmetrie.

Diese Qualität der Häufigkeitsverteilung kann nicht, jedenfalls nicht allein, durch die zentrale Lichtquelle als Bezugspunkt verursacht sein. Durch die Kreisanordnung der Versuchsplätze ist die zentrale Lichtquelle allein für jeden Platz von absolut gleicher Qualität. Auch scheiden wegen der Symmetrie der Häufigkeitsverteilung einzelne lokale Störmöglichkeiten aus, etwa Duftstoffe an bestimmten Versuchsschälchen. Es kommen nur alle Versuchsplätze umfassende Einflußmöglichkeiten in Frage. Dies ist ein gewichtiger Hinweis dafür, daß es für die Versuchstiere (mindestens) zwei Orientierungsmöglichkeiten gegeben haben muß, deren relative Lage zueinander die Laufaktivität beeinflußt hat!

Anschließend soll die Häufigkeitsverteilung (Abb. 8) Punkt für Punkt untersucht werden. Das Maximum auf den Versuchsplätzen 35, 36, 1, 2 fällt dabei besonders in die Augen. Auf diesen Versuchsplätzen saßen die Tiere besonders häufig ruhig, und es ist der größte zusammenhängende Bereich für "ruhig". Von diesen Plätzen aus liegt die zentrale Lichtquelle im Norden. Die Nord-Süd-Achse ist aber zugleich auch die Symmetrieachse für die Häufigkeitsverteilung.

Von Platz 0/36 ausgehend gibt es weitere Gipfel, also Versuchsplätze, auf denen die Tiere besonders häufig ruhig saßen, zunächst einmal beiderseits um 50° versetzt. Der eine davon ist breit, der andere schmal. Diese beiden Gipfel sind nicht gleichwertig, aber sie liegen an den gleichen Plätzen.

Nach wiederum 30° folgen zwei spitze, nahezu identische Gipfel. Weitere 40° beiderseits gibt es auf der einen Seite einen hohen spitzen Gipfel, auf der anderen Seite einen breiten flachen. Und bei 180° zeigt sich ein kleiner Gipfel, der von zwei ebenso kleinen links und rechts flankiert wird. Die Minima liegen nicht ganz so symmetrisch, lassen sich aber ebenfalls einander zuordnen.

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen dieser 1000 Tiere bezogen auf die zentrale Lichtquelle, Abb. 9, so zeigt sich ein Bild ähnlich der Sitzrichtungsverteilung der Gesamtheit der Tiere (Abb. 2; 3): Diese wie jene saßen bevorzugt lichtabgewandt.

Da die Symmetrieachse der Ruhehäufigkeitsverteilung mit der Nord-Süd-Achse zusammenfällt, kann das als Hinweis gelten für die Richtung, in der eine zweite Orientierungsmöglichkeit zu suchen ist. Nehmen wir einmal an, die Tiere unterlägen dem Einfluß des Erdmagnetfeldes. Dann wäre daraus allein ebenfalls nicht die vorliegende Ruhehäufigkeitsverteilung erklärbar. Da bezogen auf das erdmagnetische Feld

wiederum alle Versuchsplätze gleichwertig sind, müßten die Ruhehäufigkeiten gleichverteilt sein. Um zu der vorliegenden Form der Häufigkeitsverteilung zu kommen, müssen sich die Tiere aber nach mindestens zwei Systemen orientiert haben. Eins davon wirkt entsprechend der zentralen Glühlampe, das andere wirkt entsprechend dem Verlauf der erdmagnetischen Feldlinien.

Danach ließe sich die Häufigkeitsverteilung versuchsweise folgendermaßen deuten: Von den Versuchsplätzen 35, 36, 1 und 2 liegen die Bezugspunkte beider Systeme hintereinander. Das hat eine starke beruhigende Wirkung, so daß hier überdurchschnittlich viele Tiere nach einer Stunde Ruhezeit ihre Sitzrichtung nicht geändert haben. Die Versuchsplätze 16 bis 21 liegen genau zwischen den Bezugspunkten der beiden Systeme. Hier haben durchschnittlich viele Tiere ihre Sitzrichtung nicht geändert. Alle anderen Versuchsplätze liegen zwischen diesen beiden Bereichen, was zu von Platz zu Platz sich gesetzmäßig (da symmetrisch) ändernder (keine Gleichverteilung) Beruhigung oder Aktivierung führt.

Warum aber ist nur die Ruhehäufigkeit der Tiere, die auch nach einer Stunde noch in gleicher Richtung sitzen, so stark von dem Versuchsplatz abhängig? Unterliegen nicht alle Tiere den gleichen Einflüssen?

Es findet sich bei allen Versuchen eine hohe Rate von Tieren mit geänderter Sitzrichtung. Zum einen könnten Tiere auf "ungünstigen" Versuchsplätzen vor Ablauf der Stunde aufgestört werden. Zum anderen galten allgemein schon Tiere, die 20 Sekunden lang während des Messens ruhig saßen, als "ruhig". Tiere, die auch nach einer Stunde noch die gleiche Sitzrichtung haben, befinden sich aber höchstwahrscheinlich in einem anderen Ruhezustand. Ob aber dieser längerwährende Ruhezustand durch die besonderen Bedingungen bestimmter Versuchsplätze den Versuchstieren sozusagen aufgezwungen wird, oder

ob er auf den anderen Versuchsplätzen nur verhindert wird, läßt sich anhand der vorliegenden Befunde nicht entscheiden. Sicher ist jedoch, daß schon allein die Lage des Versuchsplatzes von Bedeutung für das Versuchsergebnis ist.

3.1.2.6 Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen

Prinzipiell lassen sich alle vorliegenden, auf die zentrale Glühlampe bezogener Sitzrichtungen, durch Umrechnung auf das Erdmagnetfeld beziehen. Versuchsplatz 0/36 liegt so, daß die Glühlampe genau im Norden zu sehen ist (s. Abb. 1). Versuchsplatz 1 liegt um 10° dazu versetzt, Versuchsplatz 2 ist um 20° dazu versetzt, und so weiter. Ich kann also für jeden Versuchsplatz getrennt durch Zuzählen der entsprechenden Winkelgrade die neue auf das Magnetfeld bezogene Sitzrichtung bestimmen.

Diese umgerechnete Sitzrichtung wird durch zwei Fehler ungenau. Erstens: Die Versuchsschälchen haben 6 cm Durchmesser. Nur Tiere, die auf der gedachten Geraden Versuchsplatzmarkierung - Glühlampe sitzen, werden exakt umgerechnet. Je weiter die Tiere von dieser Linie entfernt sitzen, und je näher sich dabei der Versuchsplatz an der Glühlampe befindet, desto größer wird bei der Umrechnung die Abweichung der theoretischen Sitzrichtung von der tatsächlichen Sitzrichtung. Zweitens: Eine genaue Nachprüfung ergab, daß der Versuchsraum nicht frei ist von kleinen magnetischen Verzerrungen. Die Prüfung anderer Räume im Institut und anderswo ergab freilich, daß überhaupt kein "normaler" Raum frei von magnetischen Verzerrungen ist. Dieser zweite Fehler wird nur dann wirksam, wenn die Sitzrichtung tatsächlich von dem vorhandenen Magnetfeld beeinflußt wird, und er ist immer nur so groß, wie die Differenz zwischen theoretischem und tatsächlichem Verlauf der Magnetfeldlinien. Aus alldem ergibt sich, daß die umgerechneten Werte weniger genau sind, als die tatsächlich gemessenen.

Ich habe alle 12 Häufigkeitsverteilungen (40 Watt 100 cm 1, 40 Watt ...) getrennt umgerechnet.

Diese auf das Magnetfeld umgerechneten Häufigkeitsverteilungen lassen sich nur schwer unter einem übergeordneten Gesichtspunkt verstehen. Fast alle streuen stark. Zuweilen lassen sich die Maxima den Haupthimmelsrichtungen oder den Zwischenrichtungen 1. Ordnung zuordnen. Dies gelingt um so besser, je geringer die Lichtstärke ist. Als Beispiel seien die Häufigkeitsverteilungen für die geringste Lichtstärke, 40 Watt 100 cm, Abb. 10, und die für die größte Lichtstärke wiedergegeben, 100 Watt 50 cm, Abb. 11.

Auch eine Umrechnung der 1000 Werte für die Tiere, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung hatten, ergibt hier kein klareres Bild.

3.2 Versuch 2 (Zylinderabdunkelung)

Bei allen Versuchen war ich dem Handicap unterworfen, bei Licht arbeiten zu müssen, das auch den Versuchstieren sichtbar ist: Nur bei Licht kann man sehen, in welcher Richtung die Tiere sitzen.

Versuche mit Infrarot oder anderen Strahlen lösen das Problem nicht, solange unbekannt ist, wie die Versuchstiere auf diese Strahlen reagieren. Reagieren sie aber überhaupt darauf, und das ist in diesem Fall der wärmeempfindlichen Feuerwanzen zu erwarten, so ist das Problem nicht gelöst, sondern verschoben. Diese Reaktion müßte dann qualitativ und quantitativ erfaßt werden und auf irgendeine Art "herausgerechnet" werden, um dann im Ergebnis zu "Dunkelwerten" zu kommen. Es wäre ein Verfahren, wie es jetzt beim Umrechnen lichtbezogener Sitzrichtungen zu magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen angewandt wird, und es wäre im vor-

liegenden Fall damit nichts gegenüber der geübten Praxis gewonnen.

Bei völliger Dunkelheit könnte man die Sitzrichtung jedoch mit Kamera und Blitzlicht festhalten. Nur zeigt die Aufnahme dann nicht, ob die Tiere auch wirklich ruhig gesessen haben, da ruhige und bewegte Tiere gleich scharf abgebildet werden. Zudem ändert jeder neue Fotoblitz die Versuchsbedingungen. Trotzdem sind bei Versuch 4 die Sitzrichtungen fotografisch aufgenommen worden (mehr darüber dort). In Versuch 2 wird jedoch weiterhin mit sichtbarem Licht gearbeitet.

3.2.1 Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Wie sich bei Versuch 1 andeutete,scheinen magnetfeldbezogene Sitzrichtungen mit abnehmender Lichtstärke zuzunehmen. Deshalb wurden in Versuch 2 über die Versuchsschälchen Plastikzylinder gestülpt. Diese Plastikzylinder waren schwach durchscheinend. Für die Versuchstiere wurde die Lichtstärke der zentralen Glühlampe so weiter abgeschwächt; dadurch wurden aber auch vielleicht vorhandene zusätzliche optische Orientierungsmöglichkeiten, wie helle Wände oder dergleichen, ausgeschaltet.

Versuchsanordnung wie zuvor, jedoch werden nur auf dem äußeren Versuchskreis (Radius 100 cm) Tiere eingesetzt. Über die Petrischalen mit den Versuchstieren werden rote, schwach durchscheinende Plastikzylinder gesetzt, mit den Abmessungen 3 mm Wandstärke, 90 mm Durchmesser, 140 mm Höhe. Die Glühlampe im Zentrum ist 100 Watt stark.

Nachdem die Tiere eine Stunde lang sich auf den Versuchsplätzen eingewöhnt haben, wird Messung 1 durchgeführt. Ohne etwas verändert zu haben, wird nach einer weiteren Stunde Messung 2 durchgeführt, und nach abermals einer Stunde Ruhe-

zeit Messung 3. So bekomme ich von jedem Tier 3 Meßwerte, die sich durch jeweils eine weitere Stunde Ruhe in den Versuchsbedingungen unterscheiden.

Von dieser Art wurden insgesamt 50 Versuchsreihen aufgenommen; eine pro Tag. Die Sitzrichtung wird mit dem Kompaß festgestellt, also bezogen auf das Magnetfeld.

An diesen Versuchen sind insgesamt 500 Feuerwanzen beteiligt gewesen. Sie wurden einzig bei diesen Versuchen eingesetzt. Der Einsetzmodus ist der gleiche wie beschrieben.

3.2.2 Ergebnisse Versuch 2

3.2.2.1 Lichtbezogene Sitzrichtungen

In Abb. 12 sind die Häufigkeiten aller festgestellten Sitzrichtungen auf die zentrale Lichtquelle bezogen wiedergegeben. Diese Sitzrichtungen sind errechnet aus den ursprünglich mit dem Kompaß festgestellten Sitzrichtungen.

Es fällt sofort auf, daß die Häufigkeiten für die einzelnen Sitzrichtungen vergleichsweise wenig um den gemeinsamen Mittelwert streuen. Trotzdem ergibt die statistische Prüfung mit X^2 noch eine Ablehnung der Gleichverteilung mit über 95%.

Zwischen den Häufigkeitsverteilungen aus Versuch 1 (Abb. 2 und 3) einerseits, und der vorliegenden Häufigkeitsverteilung (Abb. 12) andererseits, läßt sich keine erkennbare Ähnlichkeit feststellen. Die sonst immer stark bevorzugten Sitzrichtungen genau abgewandt vom Licht (Gipfel bei 180°) lassen im vorliegenden Versuch keine Bevorzugung mehr erkennen. Auch die Unterteilung in allgemein überdurchschnittlich oft gewählte lichtabgewandte Sitzrichtungen und unterdurchschnittlich oft gewählte lichtzugewandte Sitzrichtungen, ist nicht mehr ohne weiteres erkennbar, ergibt aber doch noch das Ver-

hältnis 48,8 % zu 51,2 % zu Gunsten lichtabgewandter Sitzrichtungen. Offensichtlich war die Abdunkelung so stark, daß die Lichtquelle nicht mehr den üblichen Einfluß für die Bevorzugung bestimmter Sitzrichtungen ausüben konnte.

Trotzdem gibt es zwei größere Bereiche überdurchschnittlich häufig gewählter Sitzrichtungen: einmal den von 60° - 120°, zum anderen den von 240° - 280°. Diese beiden Bereiche liegen sich annähernd gegenüber und haben ihre Schwerpunkte etwa bei 90° und 270°.

Die Plastikzylinder waren schwach durchscheinend, so daß die Richtung zum Licht ungefähr ausgemacht werden konnte. Nach Augenschein war die lichtabgewandte Zylinderhälfte dunkel, die lichtzugewandte Zylinderhälfte ganz schwach erhellt. Zwischen beiden Hälften lag ein etwa Zentimeter breiter Übergangsstreifen. Interessant scheint mir dabei zu sein, daß gerade die Regionen um 90° und 270° als Sitzrichtung bevorzugt werden; also die Bereiche, in denen der Plastikzylinder nicht mehr, oder gerade noch, von der Glühlampe durchleuchtet wird. Das sind die einzigen optisch markierten Stellen in dem sonst nur heller oder dunkler scheinenden Zylinder.

Insgesamt wurden in Versuch 2 5400 Einzelmessungen aufgenommen. Dabei saßen in 4360 Fällen, das sind 80,7 %, die Tiere ruhig. Vergleicht man die Ergebnisse von Messung 1 mit denen von Messung 2 und 3, ergibt sich, daß bei jeweils 1800 Messungen im ersten Fall 1429 (79,4 %), im zweiten Fall 1472 (81,8 %) und im dritten 1459 (81,1 %) Tiere ruhig saßen. Davon saßen in der gleichen Reihenfolge in lichtabgewandten Sitzrichtungen 53,3 %, 51,2 % und 49,1 % der Tiere. Daraus ergibt sich, daß die Anzahl der bewegten Tiere in dem untersuchten Zeitraum von zuvor 1 bis 3 Stunden Ruhezeit weitgehend konstant bleibt, während sich der Anteil lichtzugewandter/lichtabgewandter Tiere vielleicht etwas ändert. Mit dieser letzten Feststellung gilt es jedoch um so vorsichtiger

zu sein, als aus Versuch 1 mit 56,1 % zu 57,0 % eher ein Hinweis auf gleichbleibendes Verhalten vorliegt.

3.2.2.2 Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen

In Abb. 13 sind die Häufigkeiten aller Sitzrichtungen bezogen auf das tatsächlich vorhandene Magnetfeld wiedergegeben. Diese Sitzrichtungen wurden wie beschrieben, direkt mit dem Kompaß gemessen und nicht umgerechnet. Die Häufigkeitsverteilung Abb. 13 entspricht den drei Verteilungen nach den Messungen 1, 2 und 3, geglättet jedoch durch die größere Anzahl der Werte. Überdurchschnittlich oft gewählte Sitzrichtungen bei 80°- 120°, 220°- 240°und 340°- 20°, sowie unterdurchschnittlich oft gewählte Sitzrichtungen mit Minima bei 50°, 170°und 290° finden sich entsprechend in allen drei Einzelverteilungen.

Genau wie erwartet worden war, zeigt sich mit abnehmender Lichtstärke eine Abnahme lichtbezogener Sitzrichtungen und eine Zunahme magnetfeldbezogener Sitzrichtungen.

Der Hauptgipfel der Verteilung Abb. 13 liegt bei 0/360°. Es saßen also besonders viele Tiere genau in Richtung Norden. Nehmen wir vergleichsweise an, alle Sitzrichtungen seien gleich häufig gewählt worden, so liegt die tatsächliche Anzahl in Richtung Norden sitzender Tiere um 50 % über dieser theoretischen Häufigkeit. Und es saßen genau noch einmal so viel Tiere in Richtung Norden wie in Richtung Süden.

Alle Extremwerte der Häufigkeitsverteilung Abb. 13 lassen sich den 4 Himmelsrichtungen und den 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung zuordnen, wenn man Abweichungen bis zu 10° toleriert. Dem Maximum an Sitzrichtungen mit Schwerpunkt nach Norden liegt ein ebensolches Minimum mit Sitzrichtungen nach Süden gegenüber, dem Maximum von Sitzrichtungen nach Osten ein Minimum von Sitzrichtungen nach Westen. Der Schwerpunkt

dieser beiden letzteren Extremwerte liegt jedoch um kanpp 10° im Uhrzeigersinn verdreht.

Auf den Zwischenachsen liegt einem Maximum auf der Süd-West-Achse ein Minimum auf der Nord-Ost-Achse gegenüber. Auf der Süd-Ost- und Nord-West-Achse finden sich zwei winzige Bevorzugungen. Alle Werte für die Zwischenachsen sind ebenfalls im Uhrzeigersinn um einige Grade gedreht.

3.2.2.3 Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit

Sowohl bei den lichtbezogenen Sitzrichtungen als auch bei den magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen haben sich zwischen Versuch 1 und Versuch 2 Unterschiede ergeben. Folgen daraus auch Unterschiede in den Richtungsänderungen nach einer Stunde Ruhezeit?

Um diese Frage zu beantworten, bin ich genau wie in Versuch 1 vorgegangen. Ich habe bei allen Tieren, die auch nach einer Stunde wieder oder noch ruhig saßen, die beiden Sitzrichtungen miteinander verglichen. Die Häufigkeiten der Winkeldifferenzen zwischen diesen beiden Sitzrichtungen sind in Abb. 14 dargestellt.

Dabei können die Änderungen der Sitzrichtungen um 10° bis 170° wieder sowohl nach links als auch nach rechts erfolgt sein. Da jedoch diese beiden Möglichkeiten annähernd gleich häufig vorliegen, habe ich sie zusammengefaßt. Ich weise jedoch deshalb wieder besonders darauf hin, weil bei einer Aufteilung die Häufigkeiten 0° und 180° ein stärkeres Gewicht bekommen, denn sie können nicht in links und rechts aufgeteilt werden.

Vergleicht man die Veränderungen in der Sitzrichtung aus Versuch 1 (Abb. 7) mit denen aus Versuch 2 (Abb. 14), so lassen sich keine nennenswerten Unterschiede feststellen.

Offensichtlich hat die veränderte Bevorzugung bestimmter Sitzrichtungen von Versuch 1 zu Versuch 2 keinen Einfluß auf die Änderung der Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit. Hinweisen möchte ich aber noch auf die allgemein schwach zunehmende Bevorzugung von Richtungsänderungen gegen 180°. Wie in den Ergebnissen aus Versuch 1 wurde auch hier die genaue Umkehr der Sitzrichtung leicht bevorzugt.

Stellt man in Versuch 2 die Veränderungen der Sitzrichtung nach 2 Stunden Ruhezeit zusammen, so fällt als einziger Unterschied zu den vorliegenden Verteilungen auf, daß die Klasse mit den Sitzrichtungsänderungen 0° relativ weniger häufig besetzt ist. Zwar markiert sie immer noch den Gipfel der Verteilung, doch überragt sie mit nur 120 Tieren nicht mehr die nächsthäufig besetzte Klasse 10° Richtungsänderung, mit für links und rechts zusammengenommen 156 Tieren.

3.2.2.4 Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz

Betrachtet man die Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz, das ist die Anzahl der ruhig sitzenden Feuerwanzen für jeden Versuchsplatz, so kann für keinen Platz eine herausragende Häufigkeit festgestellt werden. Prüft man mit X^2, so ergibt sich bei einem gefundenen X^2 von 13,34 mit über 99 % Wahrscheinlichkeit auch statistische Gleichverteilung der Ruhehäufigkeiten. Wie bei Versuch 1 (s. Abb. 8) ändert sich das Bild, wenn man die Ruhehäufigkeiten pro Versuchsplatz für alle Tiere herausgreift, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung einnehmen (Abb. 15).

Mit einem X^2 von 43,71 ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß es sich auch hier um Gleichverteilung handelt, äußerst gering. Gegen Gleichverteilung spricht aber auch, daß sich hier wie bei Versuch 1 Tendenzen einer zweiseitigen Symmetrie zeigen. Dabei ist die Nord-Süd-Achse wieder Symmetrie-

achse. Für diese Tiere war es also wieder von ausschlaggebender Bedeutung, auf welchem Versuchsplatz sie eingesetzt worden waren.

Während sich bei Versuch 1 bei den Sitzrichtungen dieser Tiere bezogen auf die zentrale Glühlampe (s. Abb. 9) eine der "üblichen" Verteilung ähnliche Bevorzugung bestimmter Sitzrichtungen ergab und bezogen auf das Magnetfeld sich keine klare Zuordnung fand, zeigen sich bei Versuch 2 die folgenden Verhältnisse: lichtbezogene Sitzrichtungen Abb. 16, magnetfeldbezogene Sitzrichtungen Abb. 17. Dabei ist die lichtbezogene Häufigkeitsverteilung (Abb. 16) nicht ganz leicht mit den bisher vorliegenden ebenfalls lichtbezogenen Häufigkeitsverteilungen in Übereinstimmung zu bringen. Während die Tatsache, daß der Gipfel der Verteilung bei 180° liegt, und beiderseits davon Nebengipfel auftreten, allen lichtbezogenen Verteilungen zukommt, und Gipfel bei 330°(310) und 50° vielleicht noch mit den ebenfalls dort auftauchenden Gipfeln von dem 50-cm-Versuchskreis (s. Abb. 4) zu vergleichen sind, steht ein so ausgeprägter Gipfel bei 0/360°, wie er sich hier zeigt, ohne Beispiel da. Eine Erklärung dafür kann in den geänderten Versuchsbedingungen (Zylinderabdunkelung) gefunden werden.

Bei der magnetfeldbezogenen Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen (Abb. 17) fällt sofort die bevorzugte Sitzrichtung nach Norden auf. Die übrige Verteilung widerspricht nicht dem Schema der Bevorzugung der 4 Haupt- und Zwischenrichtungen 1. Ordnung, wenngleich die Zuordnung bei einigen Nebengipfeln schwerfällt.

Eine Gleichverteilung, geprüft mit X^2, ist sowohl für die magnetfeldbezogene (Abb. 17) als auch für die lichtbezogene (Abb. 16) Häufigkeitsverteilung mit über 99 % Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen.

3.3 Versuch 3 (Kontrollversuch)

Die Versuche 1 und 2 unterscheiden sich in den Ergebnissen. Während sich in Versuch 1 eine überwiegend lichtbezogene Zuordnung der Befunde ergibt, überwiegt in Versuch 2 eine magnetfeldbezogene Zuordnung der Befunde. Diese Unterschiede beruhen anscheinend auf den veränderten Versuchsbedingungen. In Versuch 2 war über die Petrischalen mit den Versuchstieren ein lichtabschirmender Plastikzylinder gestülpt worden. Da aber zwischen den beiden Versuchen auch der Aufnahmemodus geändert wurde, bei Versuch 1 lichtbezogene, bei Versuch 2 magnetfeldbezogene Messungen, ist nicht auszuschließen, daß dieser veränderte Aufnahmemodus die Unterschiede im Ergebnis verursacht hat. Es könnte sich ganz einfach um Umrechnungsfehler handeln. Dies um so mehr, als auch schon im Teil "Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen, Versuch 1" auf unvermeidbare Fehler bei der Umrechnung hingewiesen wurde.

Der Versuch 3 soll zeigen, ob mit dem Kompaß aufgenommene Sitzrichtungen so umgerechnet werden können, daß die neue Verteilung der Sitzrichtungen mit der typischen, in Abb. 2 und 3 gezeigten Verteilung, von primär auf die zentrale Glühlampe bezogenen Sitzrichtungen, in Einklang zu bringen ist. Außerdem sollen die Tiere in Versuch 3 eine ausgedehntere Eingewöhnungszeit haben. Sind danach noch Unterschiede bei der Bevorzugung bestimmter Sitzrichtungen zu finden, wenn man die Ergebnisse der drei Versuchskreise 100, 75, 5o cm Radius untereinander vergleicht?

3.3.1 Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Versuchsanordnung wie beschrieben, ohne Zylinderabdunkelung. Es werden auf allen drei Versuchskreisen (100, 75, 50 cm) je 36 Feuerwanzen eingesetzt. Die zentrale Glühlampe hat eine Stärke von 40 Watt. Die Tiere werden am Vorabend eingesetzt. Nach 12 Stunden Eingewöhnungszeit wird die Sitzrichtung mit dem

Kompaß festgestellt, einmal für jedes Tier. Insgesamt werden 20 Meßreihen dieser Art durchgeführt, an jedem Tag eine.

An den Versuchen waren insgesamt 400 Feuerwanzen beteiligt. Sie wurden nur für diese Versuche eingesetzt.

3.3.2 Ergebnisse Versuch 3

3.3.2.1 Lichtbezogene Sitzrichtungen

Abb. 18 zeigt die Verteilung der Sitzrichtungen von allen 3 Versuchskreisen zusammengenommen. Die Sitzrichtungen sind bezogen auf die zentrale Glühlampe und umgerechnet aus ursprünglich magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen. Ein Vergleich mit Abb. 2 und 3 zeigt eine gute Übereinstimmung in den folgenden Punkten: Die am häufigsten gewählte Sitzrichtung ist genau lichtabgewandt (Gipfel 180°). Dieser Hauptgipfel wächst mit abnehmendem Radius des Versuchskreises und dadurch bedingter Zunahme der Beleuchtungsstärke (Tab. 2, Spalte 9). Der Hauptgipfel wird von zwei Nebengipfeln flankiert. Überdurchschnittlich häufig gewählten lichtabgewandten Sitzrichtungen stehen unterdurchschnittlich häufig gewählte lichtzugewandte Sitzrichtungen gegenüber.

Abweichungen finden sich dagegen in den folgenden Punkten: Die Lage der Nebengipfel ist verschoben. In Versuch 1, Teilversuch 40 Watt, saßen 88,1 % der Tiere zur Meßzeit ruhig, in Versuch 3 (40 Watt) sind es nur 71,8 %. In Versuch 3 steigt der Prozentsatz photonegativer Tiere mit zunehmender Lichtstärke auf Grund des geringeren Abstandes zur Glühlampe; in Versuch 1 war es umgekehrt (vgl. Tab. 1 und 2, Spalte 7+8). Die Nebengipfel bei 320/50° treten auf dem 50-cm-Versuchskreis bei Versuch 1 (Abb. 4) stärker hervor

als bei Versuch 3 (Abb. 19), wo sie nur noch schwer überhaupt zu bestimmen sind.

Da sich über Ursache und Lage der Nebengipfel bis jetzt nur mutmaßliches sagen läßt, können auch über die Ursachen einer Veränderung allenfalls Mutmaßungen angestellt werden. Dagegen läßt sich der starke Rückgang "ruhiger" Tiere von Versuch 1 zu Versuch 3 damit erklären, daß die Tiere inzwischen 12 Stunden lang in den Versuchsschälchen saßen und durch Hunger und Durst aktiviert wurden.

In Versuch 1 hatte sich sowohl bei 40 Watt als auch bei 100 Watt ergeben, daß mit abnehmender Entfernung zur Lichtquelle der Anteil lichtnegativer Tiere ebenfalls abnimmt. Dieses Ergebnis widersprach der Erwartung und widersprach dem Vergleich lichtstarker mit lichtschwachen Versuchen und wurde mit dem Auftauchen überdurchschnittlich bevorzugter Sitzrichtungen bei 320/50° in Zusammenhang gebracht. Im vorliegenden Befund finden sich diese Gipfel bei 320/50° nicht (Abb. 19), und der Anteil lichtnegativer Tiere steigt erwartungsgemäß mit verminderter Entfernung zur Glühlampe und dadurch bedingter Zunahme der Beleuchtungsstärke (Tab. 2, Spalte 7+8). Insgesamt finden sich in Versuch 1 bei Teilversuch 40 Watt 55,2 % lichtnegative Sitzrichtungen, in Versuch 3, ebenfalls 40 Watt, aber längerer Ruhezeit zuvor, sind es 56,1 %.

Kommt man auf die eingangs gestellte Frage zurück, ob denn die Unterschiede der Häufigkeitsverteilungen lichtbezogener Sitzrichtungen auch tatsächlich von Versuch 1 zu Versuch 2 auf Unterschieden in der Versuchsanordnung beruhen, so muß diese Frage bejaht werden. Sicherlich sind die Ergebnisse durch die Umrechnung nicht korrekter geworden, aber diese Umrechnungsfehler sind begrenzt. Sie verhindern nicht einen Vergleich umgerechneter mit direkt gemessenen Befunden, so wie es sich eben in Versuch 3 gezeigt hat.

3.3.2.2 Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen

Die magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen entsprechen nicht in ihren Häufigkeitsverteilungen den Befunden aus Versuch 1. Während dort eine Zuordnung der Extremwerte zu Orientierungsmöglichkeiten, etwa den Himmelsrichtungen, schwer war, und sie allenfalls teilweise gelang, ergibt sich in Versuch 3 eine gute Zuordnung besonders häufig gewählter Sitzrichtungen zu den Haupthimmelsrichtungen und ihren Zwischenrichtungen 1. Ordnung. Abb. 20 zeigt die Häufigkeitsverteilung magnetfeldbezogener Sitzrichtungen der Tiere vom 50-cm-Versuchskreis. Es sind die gleichen Tiere und Sitzrichtungen wie sie in Abb. 19, umgerechnet bezogen auf die zentrale Glühlampe, vorliegen.

Die Sitzrichtungen der Tiere von den Versuchskreisen mit 75 cm und 100 cm Radius entsprechen in ihren Bevorzugungen der Verteilung Abb. 20. Doch kommt es dort zu einer Verschmelzung der Gipfel bei 0/360° und 40° durch häufiger gewählte Sitzrichtungen zwischen diesen beiden Extremwerten.

3.4 Versuch 4 (Magnetschirmversuch 1)

Bei der Feststellung der Sitzrichtungen bezogen nicht auf die zentrale Glühlampe ging es darum, für die Tiere auf allen Versuchsplätzen so ein Bezugssystem zu finden, daß parallele Sitzrichtungen zusammengefaßt und Abweichungen davon exakt wiedergegeben werden können. Ein solches Bezugssystem liegt mit dem Erdmagnetfeld vor, die Verwendung eines Kompasses erspart ein aufwendigeres Meßsystem. Trotzdem sind wohlgemerkt alle Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld nur Sitzrichtungen bezogen auf eine beliebige Orientierungsmöglichkeit, deren Zielpunkt außerhalb der Versuchsarena und von allen Versuchsplätzen in der gleichen Richtung liegt. Nur bei diesem besonderen Meßverfahren fallen Zielpunkt und Nordpol zusammen.

Auch die Tatsache, daß sich ein besonders großer Teil der magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen tatsächlich dem Magnetfeld (nämlich den 4 Himmelsrichtungen und den 4 Zwischenrichtungen dazu) zuordnen läßt, ist noch kein Beweis für eine Orientierung am Magnetfeld.

Sucht man nach Gründen, welche die Tiere veranlaßt haben könnten, bevorzugt etwa in Richtung Norden zu sitzen, lassen sich für die vorliegenden Versuche gleich zwei solche Gründe finden. Einmal steht der Thermostat, in dem die Tiere gehalten werden, von der Versuchsarena aus annähernd im Norden. Zum anderen stehen im Thermostaten zufällig auch die Zuchtgläser so, daß die Innenbeleuchtung (eine Leuchtstofflampe) wiederum annähernd im Norden davon steht. Das sind Gründe genug, eine Nordbevorzugung vermuten zu können. Die Orientierungsmöglichkeit, um diese Nordbevorzugung realisieren zu können, mag zwar im Magnetfeld gegeben sein, doch kommt jede andere nicht ausdrücklich ausgeschlossene Orientierungsmöglichkeit ebenso in Frage. Kurzum, die bisher festgestellte "Magnetfeldorientierung" braucht sich durchaus nicht am Magnetfeld zu orientieren.

Im folgenden soll nun geprüft werden, ob es sich um eine geographische oder um eine am Magnetfeld orientierte Nordbevorzugung handelt. Erwünschte Kontrollversuche in einem anderen Raum des Instituts waren mir dazu leider versagt. Es stand mir jedoch ein Gerät zur Verfügung, das eindeutige Aussagen zuließ.

Es ist dies eine Metalltonne zur Abschirmung elektromagnetischer Felder aus Mumetall, die ein schwaches eigenes Magnetfeld entwickelt. Dabei liegt der dem Erdnordpol entsprechende Pol im Mantel, der dem Erdsüdpol entsprechende Pol im Zentrum der Tonne. Durch eine Kreisanordnung der Versuchsplätze entlang dem Tonnenmantel wird der gleiche Effekt wie bei den Versuchen mit lichtbezogenen Sitzrichtungen erzielt.

Ein Beispiel möge das Prinzip verdeutlichen. Nehmen wir an, alle Feuerwanzen orientierten sich mit Hilfe einer Schallquelle nach geographisch Nord. Dann säßen die Tiere in der Tonne von außen betrachtet alle in der gleichen Richtung, nämlich in Richtung Norden. Betrachtete man dagegen ihre Sitzrichtung bezogen auf den Mantelrand der Tonne, dann würden kontinuierlich von Versuchsplatz zu Versuchsplatz fortschreitend, alle Sitzrichtungen eingenommen, und die Sitzrichtungen insgesamt wären gleichverteilt.

Ganz anders, wenn man annimmt, die Feuerwanzen orientierten sich mit Hilfe des Magnetfeldes nach Norden. Dann säßen die Tiere in der Tonne von außen betrachtet wie die Speichen eines Rades. Nach innen jedoch, bezogen auf den Mantelrand, säßen sie alle nur in einer Richtung, in der Nordrichtung.

3.4.1 Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Die Versuchsplätze liegen bei Versuch 4 in einer Tonne aus Mumetall, das ist eine Sonderanfertigung zur Abschirmung von elektromagnetischen Feldern (Lieferant: Vacuumschmelze GmbH, 645 Hanau). Die Tonne hat einen Bodendurchmesser von 70 cm, ihre Höhe beträgt 100 cm, ihre Wandstärke 1,5 mm. Bis zu 25 cm Höhe stehen die Wände der Tonne senkrecht, sie bilden den zylindrischen Unterteil. Dann verjüngt sich der Durchmesser gleichmäßig bis auf 30 cm, und es folgt die obere Abschlußplatte mit drei Öffnungen. Dieser konische Oberteil der Tonne läßt sich abnehmen.

Auf dem Boden der Tonne ist in 5 cm Höhe eine Holzspanplatte waagerecht eingelegt worden. Auf ihr ist ein konzentrischer Kreis mit 50 cm Durchmesser eingezeichnet und alle 20° markiert. An diesen Markierungspunkten werden die Versuchsschälchen mit je einem Versuchstier eingesetzt. Das ergibt immer 18 Versuchstiere, die gleichzeitig beobachtet werden. In der oberen Abschlußplatte der Tonne befinden sich Öffnungen.

Durch eine davon leuchtet eine 6-Volt-Lampe. Daneben steckt eine Kamera mit automatischem Auslöser und Selbstaufzug. Die Lampe ist mit einem Spannungsregler so eingestellt, daß ein 14-DIN-Film bei Blende 16 in 5 Minuten ausreichend belichtet wird. Durch Unschärfen lassen sich bei dieser langen Belichtungszeit bewegte von ruhig sitzenden Tieren trennen.

Mit dieser Tonne wurden 11 Versuchsserien durchgeführt. Für jede Versuchsserie wurden 18 Feuerwanzen ausgewählt, die nur für diese Serie verwendet wurden und immer auf dem gleichen Versuchsplatz saßen. Dabei wurde vom gleichen Tier bis zu 25 mal die Sitzrichtung aufgenommen. Die Versuchstiere hatten wie immer nach dem Einsetzen und vor jeder neuen Messung eine Stunde lang Zeit, sich einzugewöhnen.

Für die Auswertung der Aufnahmen habe ich einen Leitz Negativvergrößerer, 10- bis 50fache Vergrößerung, mit Kreisablesung benutzt. Das horizontale Magnetfeld in der Tonne hatte am Versuchsplatz weniger als 1/10 der Stärke des normalen Erdmagnetfeldes ($H < 0{,}015$ Gauß).

3.4.2 Ergebnisse Versuch 4

Nach Abschluß dieser Versuche liegen 11 Versuchsserien vor. Jede davon wurde an nur einem Tag aufgenommen, wobei jedoch der Vorabend und der darauffolgende Vormittag häufig in die Versuchszeit mit einbezogen wurden, weil anders keine hinreichend große Anzahl Sitzrichtungen aufgenommen werden konnte, da eine Stunde Ruhezeit mindestens immer zwischen zwei Messungen liegt.

Betrachtet man nebeneinander die Befunde aller 11 Versuchsserien, läßt sich die Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen jeweils dem bekannten Schema zuordnen: Die Gipfel

liegen auf den 4 Hauptrichtungen und den 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung dazu. Die Sitzrichtungen der Abbildungen zu Versuch 4 sind alle auf das gedrehte Magnetfeld bezogen, es sind also Sitzrichtungen, bezogen auf das für die Versuchstiere tatsächlich vorhandene Magnetfeld in der Tonne.

Zwischen den einzelnen Befunden der 11 Versuchsserien liegen Unterschiede darin, daß die dem Schema zugrunde liegenden bevorzugten Sitzrichtungen nicht gleichmäßig und nicht immer alle bevorzugt wurden. Abb. 21 bis 24 zeigen die Häufigkeitsverteilungen der Sitzrichtungen von der 1., 3., 5. und 6. Versuchsserie. Es sind Beispiele für eine gute Markierung aller Bereiche für mögliche Gipfel.

Nur in Versuchsserie 1 und 9 finden sich Gipfel, d.h. besonders häufig gewählte Sitzrichtungen, sowohl bei Nord (0°) als auch bei Süd (180°). Bei 4 anderen Versuchsserien liegen einem Nordgipfel kein Südgipfel, bei wiederum 4 anderen Versuchsserien einem Südgipfel kein Nordgipfel gegenüber. Die Gipfel auf den Zwischenachsen lassen sich in jeder Versuchsserie nahezu vollzählig ausmachen, doch sind sie oft flach und breit, und sie streuen weit stärker als die Gipfel auf den Hauptachsen, die kaum weiter als 10° verschoben sind.

Faßt man die Befunde aller 11 Versuchsserien in einer Gesamtkurve zusammen, wird eine deutliche Einebnung der Extremwerte erreicht. Dies kommt durch die unterschiedliche Ausprägung und Lage der Gipfel in den einzelnen Versuchsserien.

3.5 Versuch 5 (Magnetschirmversuch 2)

3.5.1 Besondere Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung

Versuch 5 wurde wie Versuch 4 im abgeschirmten Magnetfeld durchgeführt, doch wurde die Versuchsanordnung abgewandelt. Diesmal wurde nur die untere Hälfte der Magnetschirmtonne

verwendet. Der Mantel der Magnetschirmtonne entspricht wie in Versuch 4 dem erdmagnetischen Nordpol, das Zentrum dem erdmagnetischen Südpol.

Der Magnetschirm steht 15 cm vom Fußboden erhöht. Unter seinem Zentrum brennt als einzige Lichtquelle im Raum eine 100 Watt Glühlampe. Dadurch herrscht im Versuchsraum diffuses, indirektes Licht.

Die Petrischalen mit den Versuchstieren stehen auf einer schwarzen Holzplatte in dem Magnetschirm. Sie stehen wie in Versuch 4 am Rande einer Kreislinie mit 50 cm Durchmesser in 20° Abstand voneinander. Um die Innenwand des Magnetschirmes wird schwarzer Photokarton gestellt, er überragt die Petrischalen mit den Versuchstieren um gut 50 cm.

Nach dem Einsetzen haben die Versuchstiere wie immer eine Stunde lang Zeit, sich einzugewöhnen.

An 30 Versuchstagen werden täglich 3 Meßreihen durchgeführt; an den Versuchen sind etwa 300 Tiere beteiligt, die reihum eingesetzt werden. Die Feuerwanzen wurden nur für diese Versuche genommen.

Gemessen wird mit dem Kompaß bezogen auf das Erdmagnetfeld. Anschließend wird die ermittelte Richtung auf die Nordrichtung im Magnetschirm umgerechnet.

Beim Feststellen der Sitzrichtung wird aus mehr als 100 cm Höhe auf die Versuchstiere gepeilt. Diese Höhe ist erforderlich, um eine Ablenkung der Kompaßnadel durch die Magnetschirmtonne zu verhindern.

3.5.2 Ergebnisse Versuch 5

Diese Messungen waren zu allen Tageszeiten zwischen 9 Uhr morgens und 23 Uhr abends aufgenommen worden. Eine Aufschlüsselung nach Uhrzeit ergab keinerlei Anhaltspunkt für eine zeitbedingte Änderung der Vorzugsrichtung. Das mag an der dafür zu geringen Anzahl Messungen liegen. Doch auch eine Zweiteilung aller Befunde in solche, die vor 18 Uhr (Tagesmessungen) und solche, die nach 18 Uhr (Nachtmessungen) aufgenommen wurden, ergaben weitgehend übereinstimmende Häufigkeitsverteilungen. Die trotzdem vorliegenden geringen Unterschiede lassen sich alle mit zufälligen Schwankungen bestimmter Vorzugsrichtungen erklären. Darum sei in Abb. 25 die Gesamtheit aller in Versuch 5 aufgenommenen Sitzrichtungen wiedergegeben.

Es zeigt sich, daß die Sitzrichtungen Nord, Ost, West und Süd-Ost deutlich bevorzugt wurden. Dabei sind jedoch alle Gipfel um etwa 10° im Uhrzeigersinn von den theoretischen Richtungen verschoben.

Die in Abb. 25 vorliegende Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen ist bezogen auf das tatsächlich auf die Versuchstiere einwirkende Magnetfeld in der Magnetschirmtonne. Die zunächst mit dem Kompaß, bezogen auf das Erdmagnetfeld ermittelten Sitzrichtungen, wurden umgerechnet. Zu Versuch 4 ergibt sich im Ergebnis keine gravierende Änderung.
Auch eine Prüfung der Ergebnisse aus Versuch 1 bis 4 auf Aktivitäts- und Orientierungsrhythmik, wie sie BIRUKOW (1964) bei Calandra granaria L. nachweisen konnte, blieb vorderhand negativ. Doch war die Versuchsanordnung nie speziell auf diese Frage ausgerichtet, so daß die hier zunächst negativen Befunde durchaus noch nicht Aktivitäts- und Orientierungsrhythmik auch bei Feuerwanzen grundsätzlich ausschließen.

4 DISKUSSION

(Gesamtbefund und Besprechung)

4.1 Versuchsanordnung

Der größte Teil der vorliegenden Ergebnisse ist durch die besondere Versuchsanordnung ermöglicht worden. Die Anordnung der Versuchsplätze im Kreis um die Reizquelle bedingt, daß im Ergebnis alle anderen richtenden Einflüsse zunächst außer acht gelassen werden können. Voraussetzung ist dabei, daß diese anderen Einflüsse auf alle Versuchstiere gleichmäßig wirken. Immer findet sich dann in dem gegenüberliegenden Versuchsplatz ein Antagonist, der Abweichungen in der einen Richtung, theoretisch durch Abweichungen in die andere, in die entgegengesetzte Richtung neutralisiert. So finden sich erwartungsgemäß bei allen Versuchen eine große Anzahl Tiere, deren besondere Sitzrichtung sich weder dem Magnetfeld- noch dem Lichteinfluß zuordnen läßt.

Auch die Anordnung der Versuchsplätze in konzentrischen Kreisen um die Glühlampe, womit durch unterschiedliche Entfernungen zur Glühlampe unterschiedliche Beleuchtungsstärken erreicht werden, halte ich für vielversprechend. Leider schwankte die Netzspannung im Lauf der Versuchszeit so stark, daß ein gut Teil der möglichen Befunde dadurch verzerrt wurde und nicht mehr klar herausgestellt werden kann.

Bei allen Versuchen habe ich das Schwergewicht auf die Gesamtheit der Befunde, also immer auf alle tatsächlich gewählten Sitzrichtungen gelegt. Dadurch wird zwar die Behandlung der Befunde sehr erschwert, da sich immer ein hoher Prozentsatz Tiere findet, der sich für das jeweilige Versuchsziel neutral verhält und die tatsächlichen Aussagen dadurch abschwächt. Andererseits bekomme ich aber nur so ein Maß für das tatsächliche Gewicht der beobachteten Reaktionen.

Auf die Gesamtheit der jeweiligen festgestellten Sitzrichtungen bezogen, war jede auch noch so eindeutige Bevorzugung einer bestimmten Sitzrichtung geringfügig. Niemals reagierten etwa die Hälfte oder gar alle Tiere im gleichen Sinn; etwa so, daß sie alle nur eine Sitzrichtung gewählt hätten.

4.2 Lichtbezogene Sitzrichtungen

Die Feuerwanzen werden bei der Wahl ihrer Sitzrichtungen durch eine Lichtquelle beeinflußt. Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, daß dabei ganz allgemein lichtnegative Einstellungen häufiger als lichtpositive gewählt werden. Trotzdem wurde immer auch ein hoher Prozentsatz lichtpositiver Sitzrichtungen festgestellt. Das Verhältnis lichtnegativer zu lichtpositiven Sitzrichtungen ändert sich mit der Beleuchtungsstärke. Je stärker die Glühlampe der zentralen Lichtquelle leuchtet, desto mehr Tiere wählen Sitzrichtungen in den lichtabgewandten Halbkreis. Im gleichen Sinn nimmt auch die Bewegungsaktivität zu. Je stärker die Beleuchtungsstärke wird, desto weniger sind die Versuchstiere geneigt, ruhig zu sitzen.

Sitzrichtungen genau abgewandt vom Licht werden besonders häufig gewählt (Gipfel bei 180°). Die Häufigkeiten aller gewählten Sitzrichtungen verteilen sich jedoch nicht im Sinne einer Gauß'schen Normalverteilung um diesen Gipfel. Vielmehr finden sich Nebengipfel durch besonders häufig gewählte andere Sitzrichtungen über das ganze Spektrum verteilt. Diese Nebengipfel sind schwer festzulegen. Daß dies trotzdem gelingt, liegt einmal daran, daß sie symmetrisch auftreten (bezogen auf die "Lichtachse" 0/360° - 180°), zum anderen daran, daß sie gewöhnlich in bevorzugten Bereichen erscheinen: etwa bei 130/230° oder bei 90/270° oder bei 50/320°.

Der Hauptgipfel (Gipfel bei 180°) wächst mit zunehmender Lichtstärke (s. Tab. 1 und 2, Spalte 9).

Die Nebengipfel bei 130/230° ändern mit der Beleuchtungsstärke ihre Lage. Im Grundversuch (Versuch 1) liegen diese Nebengipfel im lichtschwächsten Versuchsteil (40 Watt, 100 cm, 1) bei 150/210°; im lichtstärksten Versuchsteil (100 Watt, 50 cm, 1) bei130/230°. Auch das Auseinanderrükken der Minima zwischen Haupt- und Nebengipfel (s. Abb. 2 und 3) weist in diese Richtung.

Die Nebengipfel bei 50/320° sind besonders ausgeprägt bei den Häufigkeitsverteilungen vom 50-cm-Versuchskreis im Grundversuch (s. Abb. 4). Doch auch in dem Versuch mit Zylinderabdunkelung sind bei der Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen aller der Tiere, die auch nach einer Stunde in der gleichen Richtung wie zuvor saßen (s. Abb. 16), gerade diese Sitzrichtungen überdurchschnittlich häufig gewählt worden.

Errechnet man für die einzelnen Versuche die jeweils erwartete Häufigkeit bei Gleichverteilung aller Werte und vergleicht damit die tatsächlichen Häufigkeiten, ergibt sich, daß nahezu alle Sitzrichtungen im lichtzugewandten Halbkreis (280°- 90°) unterdurchschnittlich oft gewählt wurden. Ausnahmen davon sind selten, etwa unter bestimmten Voraussetzungen die Nebengipfel bei 50/320°. Dagegen liegen genauso konsequent die Häufigkeiten für die Sitzrichtungen in den lichtabgewandten Halbkreis (100° - 270°) über den erwarteten Werten. Auf der Grenze zwischen lichtabgewandtem und lichtzugewandtem Halbkreis, welches wohlgemerkt zugleich auch die Grenze für überdurchschnittlich und unterdurchschnittlich häufig gewählte Sitzrichtungen ist, finden sich zwei besonders schwer faßbare Nebengipfel (90/270°). Besonders schwer faßbar deshalb, weil sie oft mit den Nebengipfeln bei 130/230° verschmelzen, und weil

weder ihre Ausprägung noch ihre Lage bisher mit einer Änderung der Versuchsanordnung in Zusammenhang gebracht werden konnte.

Sobald die Tiere die zentrale Glühlampe nicht mehr exakt ausmachen können (Zylinderabdunkelung, Versuch 2), ändert sich die charakteristische Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen. Der Gipfel bei 180° verschwindet, und bei 0/360° findet sich unerwarteterweise ein kleiner Gipfel mit gut 10 % mehr Tieren, als bei Gleichverteilung zu erwarten wären (s. Abb. 12). Trotzdem überwiegen wie sonst insgesamt Sitzrichtungen in den lichtabgewandten Halbkreis.

Wählt man jedoch aus diesen Sitzrichtungen diejenigen der Tiere aus, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung wie zuvor einnehmen, so erhält man die alte, charakteristische Verteilung. Der Hauptgipfel liegt bei 180° und wird flankiert von zwei Nebengipfeln bei 140° und 220° (s. Abb. 16). Diese beiden Nebengipfel sind sehr dicht an den Hauptgipfel herangerückt; es handelt sich um einen sehr lichtschwachen Versuch (Zylinderabdunkelung!). Im Bereich 90/270° ist das Bild uneinheitlich. Es gibt einerseits zwei kleine Gipfel bei 90° und 110°, gegenüber liegt jedoch ein starkes Maximum, das sich von 240° bis 270° dehnt. Die beiden im lichtzugewandten Halbkreis gelegentlich auftauchenden Nebengipfel sind gut ausgeprägt und liegen bei 50° und 330°. Als Novum findet sich bei 0/360° ein deutlicher Gipfel.

Betrachtet man diese Häufigkeitsverteilung (Abb. 16) neben der Gesamthäufigkeitsverteilung (Abb. 12), in der sie ja enthalten ist, so lassen sich nicht allzuviele Ähnlichkeiten finden. Offensichtlich orientierten sich diejenigen Feuerwanzen, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung hatten, anders als die Gesamtheit der Tiere.

In Versuch 1 hatte sowohl die Gesamtheit der ruhig sitzenden Tiere (s. Abb. 2 und 3) als auch die ausgesuchte Gruppe der nach einer Stunde noch in der gleichen Richtung sitzenden Versuchstiere (s. Abb. 9) keine prinzipiellen Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung gezeigt. Erst die Zylinderabdunkelung hatte es den Versuchstieren erschwert, sich mühelos nach der Lichtquelle zu orientieren. Dadurch wurden zwei sich unterscheidende Häufigkeitsverteilungen bewirkt.

Sucht man nach anatomischen oder physiologischen Gegebenheiten, die der Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen entsprechen, so lassen sie sich für zwei bestimmte bevorzugte Sitzrichtungen leicht finden: Tiere, die direkt zum Licht gerichtet saßen (Sitzrichtungen um $0/360^{\circ}$), oder Tiere, die sich genau vom Licht abwandten (Sitzrichtungen um 180°), erreichen damit den Zustand der optischen Erregungssymmetrie.

Darüber hinaus lassen sich andere bevorzugte Sitzrichtungen (Nebengipfel), insbesondere die bei 130° und 230° mit Gegebenheiten am und im Insektenauge sowie anderen Versuchsergebnissen in Verbindung bringen.

Zunächst seien in diesem Zusammenhang interessierende und bereits bekannte Befunde am Insektenauge herausgestellt.

1. Die Anpassung an wechselnde Lichtverhältnisse erfolgt (auch) durch retinomotorische Verschiebungen. Die Erregungsgröße einer Sehzelle fällt stark ab, wenn der Winkel des einfallenden Lichtes von der Achse des Rhabdomer abweicht. Bei Calliphora ist schon bei einer Divergenz von nur 2° die Erregung auf etwa 1/10 zurückgegangen, bei 5° beträgt sie nur noch 1/100 der ursprünglichen Erregung (zitiert nach KÄSTNER, 1967 und 1972).

Der anatomische Divergenzwinkel der Ommatidien ist bei Insekten kleiner als das Sehfeld des Einzelommatidiums. Die Sehfelder benachbarter Ommatidien überlappen sich (AUTRUM 1962).

Das Rasterbild der Umgebung ist feinkörniger als nach der alten Theorie des musivischen Sehens, nach der das Ommatidium die funktionelle Einheit darstellte (SEITZ 1968).

2. KUHN (1926) fand bei Pyrrhocoris apterus L. eine für Wanzen einmalige starke Ausbildung der Hauptpigmentzellen. Damit können die einzelnen Ommatidien sehr gut optisch isoliert werden. Die Kristallkegelzellen sind lang (ebd.).

   Nach Untersuchungen an Insekten, insbesondere auch Wanzen, von ECKERT (1968), tritt in den Augen keine Pigmentwanderung auf. Vielmehr wurde die Auffassung, daß die typisch aconen Appositionsaugen der Wanzen durch Pigmentwanderung in unvollkommene Superpositionsaugen übergehen können, dahingehend korrigiert, daß durch das Vordringen der Rhabdomeren in den Kristallkegel adaptiert wird (s. auch MÜLLER 1971).

3. Die stark aus dem Kopf vorspringenden Augen liegen bei Pyrrhocoris apterus L. unmittelbar vor dem Halsschild. Eine bestimmte Zone kann daher keine funktionstüchtigen Ommatidien tragen (KUHN 1926). Selbst wenn diese Ommatidien voll funktionstüchtig wären, durch den Halsschild würden sie so weit abgedeckt, daß sie nicht wie unbehinderte reagieren können.

Nach diesen Befunden muß für eine bestimmte Sitzrichtung der Feuerwanzen, bei unterschiedlicher retinomotorischer Anpassung des Auges, auf Grund einer Änderung der Beleuch-

tungsstärke, eine deutliche Grenzverschiebung erregter Sehzellen erwartet werden. Mit zunehmender Beleuchtungsstärke wird die caudale Grenze der erregten Sehzellen nach vorn wandern, bei abnehmender Lichtintensität nach hinten. Bedingt durch die Lage der hinteren Sehzellen zu dem vorspringenden Halsschild, ist jedoch die hintere Grenze voll erregbarer Sehzellen vor dem 180°-Punkt festgelegt.

Damit könnten die bevorzugten Sitzrichtungen, die zu den Nebengipfeln bei 130° und 230° geführt haben, so gedeutet werden, daß überdurchschnittlich viele Feuerwanzen ihre Sitzrichtung so wählen, daß sie mit den hinteren, gerade noch erregten Sehzellen eines Auges die Lichtquelle zu fixieren trachten. Bei lichtabgewandten Sitzrichtungen darüber hinaus streben sie Erregungssymmetrie beider Augen an (Gipfel bei 180°).

Das Auseinanderrücken der beiden Nebengipfel um den Hauptgipfel bei 180° mit zunehmender Beleuchtungsstärke müßte mit der unterschiedlichen Anpassung des Auges auf die veränderte Beleuchtungsstärke erklärt werden.

Betrachtet man eine fixierte Feuerwanze in Aufsicht durch das Mikroskop, so kommt man zu dem Ergebnis, daß der tote Winkel für die Augen durch den Halsschild beiderseits 40° bis 50° ausmacht. Das ergäbe dann mit der obigen Annahme ebenfalls Sitzrichtungen gehäuft bei 130° und 230°.

Es gibt noch einen anderen interessanten Aspekt. BAUERS (1953) untersuchte an verschiedenen Insekten den Fixierbereich des Auges, dabei von Dixippus morosus Br. den horizontalen Fixierbereich. Er ging dabei davon aus, daß ein Tier, das sich unter einem bestimmten Menotaxiswinkel fortbewegt, bei Reizung mit einer zweiten Lichtquelle nur dann darauf reagiert, wenn diese zweite Lichtquelle mit Sehzellen aus dem Fixierbereich wahrgenommen werden kann. Dabei ergab sich,

daß in einem jeweils größeren Sehbereich ein kleinerer Fixierbereich liegt. BAUERS fand für die verhaltensphysiologisch ermittelten Grenzen dieses Fixierbereiches auch anatomische Entsprechungen im Auge der Versuchstiere: Die Grenze des Fixierbereiches liegt bei Ommatidien mit Winkelwerten um 5°.

Bei Dixippus morosus Br. erstreckt sich der morphologische Sehbereich von -5° rostral bis 164° caudal. Demgegenüber reicht der ermittelte Fixierbereich nur von 20° bis 30° rostral bis zu 120° bis 130° caudal. Diese Grenzen des von BAUERS bei Dixippus morosus Br. festgestellten Fixierbereiches fallen in auffallender Weise mit Nebengipfeln in der Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bei den untersuchten Feuerwanzen zusammen (s. z.B. Abb. 4 und 16).

Bei Calliphora umfaßt das horizontale Gesichtsfeld eines Auges 190° (SEITZ 1968).

Die bevorzugten Sitzrichtungen bei 90/270° könnten bei Feuerwanzen die gleiche Ursache haben wie die bei Laufversuchen, etwa von Geotrupes, besonders häufig gewählten Menotaxiswinkel in der gleichen Richtung.

Wohlgemerkt, bei allen diesen Verbindungen handelt es sich um keine Beweise, sondern um Vermutungen; wenn auch um mehr oder weniger begründete Vermutungen über die Ursachen der Bevorzugung gewisser Sitzrichtungen. Sie sollen das Feld abstecken, in dem durch gezielte neue Versuche weiter gefragt werden kann.

In Dunkelkammerversuchen mit einer Lichtquelle 10 cm über der Lauffläche, laufen die Feuerwanzen auf die Lichtquelle zu. Löscht man die angelaufene Lampe und knipst gleichzeitig im Rücken der Tiere ein anderes Licht an, so drehen sich die Feuerwanzen und laufen nun die neue Lichtquelle an. Bei allen diesen Versuchen waren die Feuerwanzen nahezu ausschließlich

positiv phototaktisch. Bei den festgestellten Sitzrichtungen überwiegen dagegen lichtnegative Einstellungen.

DOLLEY (1916) fand, daß Vanessa antiopa lichtpositiv fliegt und kriecht, dagegen setzen sich die Schmetterlinge bei Sonnenlicht immer lichtabgewandt. DOLLEY fand keine Erklärung für dieses Verhalten. Wir können annehmen, daß bei Vanessa antiopa die lichtabgewandte Sitzrichtung der besseren Durchwärmung der Flügel durch die Sonne dient. Bleibt jedoch die Tatsache, daß auch hier lichtpositiver Fortbewegung lichtnegative Sitzrichtungen gegenüberstehen. Auch BÄSSLER (1962) fand bei der Stabheuschrecke erwähnenswerte lichtabgewandte Sitzrichtungen.

Wenn bei Pyrrhocoris apterus auch überwiegend photonegative Sitzrichtungen eingenommen werden, finden sich doch, anders als bei Vanessa antiopa, viele Feuerwanzen in allen anderen möglichen Sitzrichtungen. Dadurch ergibt sich ein weiter Spielraum für die Vermutung anderer richtender Einflüsse. Ihr Effekt verwischt jedoch allenfalls, verhindert aber nicht die Bevorzugung photonegativer Sitzrichtungen.

4.3 Vorzugsrichtungen orientierter Tiere

Nach JANDER (1963) sind für die Orientierung der Arthropoden zur Schwingungsrichtung linear polarisierten Lichtes vier Grundrichtungen typisch: parallel, quer, 45° links und 45° rechts zur Schwingungsrichtung. Dieser Befund wurde von RENSING (1966) mit neuem Material bestätigt.

Im unpolarisierten Licht wären besonders die häufig beobachteten Laufrichtungen zum und vom Licht hervorzuheben, die positive und negative Phototaxis. Doch kommen auch Laufrichtungen quer zum Licht verhältnismäßig häufig vor. Bei Geotrupes überwiegt diese 90°-Einstellung sogar bei weitem (BIRUKOW 1954).

Läufe zwischen diesen (Haupt-) Richtungen sind zwar bekannt, doch kenne ich keinen Nachweis für auffällige Häufungen dieser Zwischenrichtungen. Sie lassen sich jedoch bei gleichzeitiger Ausrichtung nach zwei Reizsystemen als "Kompromißlösung" finden (etwa Schwerkraft/Licht).

In den vorliegenden Häufigkeitsverteilungen der Sitzrichtungen von Pyrrhocoris apterus lassen sich die Extremwerte grob gesehen ebenfalls den vier Hauptrichtungen und den Zwischenrichtungen dazu beiordnen. Durch unterschiedliche Lichtstärke wird dabei jedoch sowohl die Wahl für eine dieser Sitzrichtungen beeinflußt als auch in bestimmten Fällen eine (geringe) Änderung in der Ausrichtung bewirkt.

Trotzdem scheint es mir erwähnenswert zu sein, daß sowohl zur Schwingungsrichtung linear polarisierten Lichtes als auch zur Strahlenrichtung unpolarisierten Lichtes als auch, wie nachfolgend noch gezeigt werden soll, zu den magnetischen Feldlinien, die Richtungen parallel, quer und 45° dazwischen bevorzugt werden.

4.4 Magnetfeldeinfluß im Tierreich

Es gibt eine große Anzahl Arbeiten, die Beweise oder begründete Vermutungen für den Einfluß natürlicher oder künstlicher Magnetfelder auf Organismen bringen.

Zunächst ungläubig bestaunt (erste Arbeiten von SCHNEIDER 1957 ff; BECKER 1963a f; BECKER u. SPECK 1964; BROWN 1962 ff), wurden im Lauf der Zeit immer neue Nachweise erbracht (LINDAUER u. MARTIN 1968; WILTSCHKO u. MERKEL 1965; WILTSCHKO 1968; WILTSCHKO, HÖCK u. MERKEL 1971; BENNETT u. HUGUENIN 1969; WEHNER u. LABHART 1970), so daß schließlich selbst Skeptiker nicht mehr die Tatsachen übersehen können. Die Mehrzahl der Nachweise liegt für Wirbellose vor. Doch auch Wirbeltiere können sich nach dem Magnetfeld orientieren.

Während bei den Vögeln Brieftauben mit den bekannt guten Heimkehrleistungen offensichtlich die Sonne als Kompaß im Heimorientierungssystem verwenden (SCHMIDT-KOENIG 1961), kann bei zugunruhigen Rotkehlchen das Magnetfeld als Orientierungshilfe genutzt werden (FROMME 1961; WILTSCHKO u. MERKEL 1965; WILTSCHKO 1968; WILTSCHKO, HÖCK u. MERKEL 1971). Für Säugetiere fehlt bisher der Nachweis, daß Magnetfelder zur Orientierung beitragen. Doch liegt z.B. für Mäuse ein reiches Material vor, das Orientierungserfolge nachweist, obwohl es keine erkennbaren Orientierungshilfen gab. Dabei könnte womöglich das Magnetfeld an dem Erfolg beteiligt gewesen sein. BOVET (1962), fand bei Heimfindeversuchen eine Anfangsorientierung auf der NO-SW-Achse. Und der Heimkehrerfolg direkt nach Süden war besonders groß. In einem Dressurversuch (BOVET 1965) zeigte sich, daß Wald- und Rötelmäuse fähig sind, unter Ausschluß optischer, akustischer und osmischer Reize, die Himmelsrichtung zu erkennen.

LINDENLAUB (1960) fand bei bis zu 2 km verfrachteten Mäusen eine Bevorzugung der Heimatrichtung. Faktoren der Heimorientierung konnten dabei nicht gefunden werden. Bei einer Verfrachtung bis zu 3 km vom Fangort, verließen Mäuse ein radiärsymmetrisches Labyrinth mit 24 Ausgängen vorzugsweise in Richtung zum Fangort (LINDENLAUB 1955).

4.5 Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen bei Pyrrhocoris apterus L.

Wenn für die Versuchsreihen aus Versuch 1 die lichtbezogenen Sitzrichtungen in magnetfeldbezogene umgerechnet werden, ergibt sich eine Ungleichverteilung. Doch lassen sich Minima und Maxima der neuen Häufigkeitsverteilungen keinem übergeordneten Gesichtspunkt unterordnen. Sie scheinen mehr oder weniger zufällig verteilt zu sein. Theoretisch kann eine Orientierungsmöglichkeit in jeder Himmelsrichtung gesucht werden.

Bei einer angenommenen Orientierungsmöglichkeit für die 4 Himmelsrichtungen lassen sich diese Häufigkeitsverteilungen jedoch vielleicht dennoch deuten, denn die Extremwerte lassen sich verhältnismäßig häufig diesen 4 Himmelsrichtungen (und den 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung dazu) beiordnen. Dies scheint um so eher zu gelingen, je geringer der Lichteinfluß ist. Aus diesem Grund ist das Ergebnis der Häufigkeitsverteilung aus Versuch 2 (mit Zylinderabdunkelung), also ein sehr lichtschwacher Versuch, wobei darüber hinaus die Richtung zur Lichtquelle nur schlecht auszumachen war, von größtem Interesse. Da bei der Umrechnung von lichtbezogenen zu magnetfeldbezogenen Sitzrichtungen unvermeidliche Fehler entstehen, wurde die Sitzrichtung direkt mit dem Kompaß bestimmt. Das Ergebnis liegt in Abb. 13 vor. Alle Extremwerte lassen sich den 4 Haupthimmelsrichtungen und den 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung zuordnen. Der Hauptgipfel der Verteilung liegt im Norden. Dieser Hauptgipfel verstärkt sich relativ erheblich, wenn man die Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen von den Tieren betrachtet, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung wie zuvor haben (Abb. 17). Nach diesen Befunden scheint erstens eine Magnetorientierung der Feuerwanzen wahrscheinlich, und zweitens scheint diese Magnetorientierung um so deutlicher hervorzutreten, je schwieriger die Lichtorientierung für die Versuchstiere wird.

In Versuch 3 sollte überprüft werden, ob umgerechneteHäufigkeitsverteilungen trotz aller erwarteten Fehlerhaftigkeit ein Wiedererkennen der charakteristischen Häufigkeitsverteilung ermöglichen. Das muß nach dem vorliegenden Ergebnis bejaht werden. Doch zeigt sich in Abb. 20 eine so deutliche magnetfeldbezogene Häufigkeitsverteilung, daß der Verdacht aufkommt, die umgerechneten Häufigkeitsverteilungen aus Versuch 1 zeigten hauptsächlich durch Umrechnungsfehler oder andere unbekannte Einflüsse keine erkennbarere Magnetfeldbezogenheit. Diese ist aber vielleicht trotzdem vorhanden.

In den beiden folgenden Versuchen (Versuch 4 und 5) sollte geprüft werden, ob die magnetfeldbezogenen Häufigkeitsverteilungen auch tatsächlich auf das Magnetfeld zurückzuführen sind oder ob nur zufällig eine noch unbekannte Orientierungsmöglichkeit im gleichen Sinne wirkt. Dazu stand eine Versuchstonne zur Verfügung, deren Magnetfeld von dem umgebenden natürlichen Magnetfeld charakteristisch abwich. Wiederum durch Kreisanordnung der Versuchsplätze konnten Orientierungshilfen aus einer unbestimmten außen liegenden Richtung neutralisiert werden.

Aus Versuch 4 sind die Häufigkeitsverteilungen der 1., 3., 5. und 6. Versuchsreihe in Abb. 21 bis 24 wiedergegeben. Sie zeigen eine Verteilung der Extremwerte auf die 4 Hauptachsen und 4 Zwischenachsen 1. Ordnung dazu. Damit ist erwiesen, daß die bisher magnetfeldbezogen genannten Häufigkeitsverteilungen tatsächlich magnetfeldbezogen sind.

Werden alle 11 Versuchsreihen aus Versuch 4 zusammengefaßt, dann wird die starke Differenzierung in der Häufigkeitsverteilung der Einzelversuchsreihen weitgehend eingeebnet. Es pendelt also die tatsächliche Sitzrichtung von Versuchstag zu Versuchstag etwas um den Mittelwert. Ursache dafür können individuelle Unterschiede sein, es kommen aber auch sich ändernde Außeneinflüsse in Frage.

Abschließend wurde der gleiche Kontrollversuch mit leichten Abwandlungen als Versuch 5 wiederholt. Das Ergebnis zeigt Abb. 25. Versuch 5 bestätigte das Ergebnis aus Versuch 4.

BECKER (1965) fand, daß bei Musca domestica die Landerichtungen sich im normalen Erdmagnetfeld den 4 Himmelsrichtungen zuordnen lassen. Kompensierte er das Magnetfeld, trat die Bevorzugung der 4 Himmelsrichtungen zurück, und die 4 Zwischenrichtungen dazu wurden bevorzugt gewählt.

Bei meinen Versuchen zeigt sich, daß sowohl im normalen als auch im kompensierten Magnetfeld die 4 Haupthimmelsrichtungen und die 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung dazu bevorzugt werden. Dabei ändert sich jedoch die spezielle Bevorzugung unter diesen 8 Möglichkeiten von Versuchsreihe zu Versuchsreihe.

So ist etwa die Nordrichtung bei vielen Versuchen extrem häufig gewählt worden, während sie in anderen Fällen geradezu ausgespart wird. Eine Erklärung dafür läßt sich vorderhand nicht finden. Man könnte zwar annehmen, daß die Wahl für eine bestimmte Sitzrichtung dieser 8 Möglichkeiten zufällig ist, doch dem widerspricht, daß gerade die Nordrichtung in auffällig vielen Versuchsreihen besonders oft gewählt wurde.

Sowohl bei BECKER (1965) als auch bei WILTSCHKO (1968) ist die Stärke des Magnetfeldes von ausschlaggebender Bedeutung für die Orientierungsleistungen.

WILTSCHKO (1968) fand weder bei besonders niedrigen (0,34 Gauß) noch bei besonders hohen (0,64 Gauß) Intensitäten bei Rotkehlchen eine Orientierungsreaktion. Meine Gaußwerte am ungestörten Versuchsplatz betrugen: F (Totalintensität) = 0,52 Gauß; H (Horizontalintensität) = 0,15 Gauß.

In den vorliegenden Versuchen bei Pyrrhocoris apterus L. zeigt sich eine dominierende Abhängigkeit von der Lichtstärke der zentralen Glühlampe. Nachdem deren Einfluß verringert und später aufgehoben wird, zeigt sich eine immer deutlicher werdende Zuordnung der bevorzugten Sitzrichtungen zum Magnetfeld. Analog dazu stellten WILTSCHKO, HÖCK u. MERKEL (1971) eine verbesserte Orientierungsleistung von Rotkehlchen bei bedecktem Himmel fest.

4.6 Ruhehäufigkeit pro Versuchsplatz

Fragt man, wieviele Tiere auf jedem Versuchsplatz einen Ruhewert gebracht haben, so sind es für jeden Platz gleich viele. Ganz anders sieht es jedoch aus, wenn man fragt, wieviele Tiere von denen, die auch nach einer Stunde Ruhezeit in der gleichen Richtung sitzen, auf jeden einzelnen Versuchsplatz kommen. Jetzt ändert sich plötzlich die Anzahl von Versuchsplatz zu Versuchsplatz ganz erheblich; (s. Abb. 8 und 15). Diese stark differenzierte Ruhehäufigkeitsverteilung läßt sich jeweils in zwei spiegelbildliche Hälften aufteilen. Dabei fällt die Symmetrieachse mit der Nord-Süd-Achse zusammen. Aus der Ungleichverteilung dieser Ruhehäufigkeiten muß man auch auf Unterschiede bei den einzelnen Versuchsplätzen schließen.

Da die Ungleichverteilung in sich symmetrisch ist, können lokale störende Einflüsse ausgeschlossen werden. Um diese Symmetrie zu erreichen, müssen (mindestens) zwei Orientierungsmöglichkeiten für die Versuchstiere vorgelegen haben, für alle Versuchsplätze und für alle Versuchstiere gleichermaßen.

Die Richtung der Symmetrieachse weist die Richtung, in der einer der Orientierungspunkte liegen muß. Der andere Orientierungspunkt ist in der zentralen Glühlampe gegeben.

Unter Versuch 1 (Seite 19, Abs. 2) habe ich im Ansatz versucht, eine Deutung für die unterschiedlichen Häufigkeiten zu geben. Diese Deutung läßt sich auch auf die Befunde aus Versuch 2 ausdehnen. Doch muß dabei berücksichtigt werden, daß die zentrale Lichtquelle bei Versuch 2 durch die Abdekkung der Versuchsschälchen mit den Plastikzylindern einen erheblich geringeren Einfluß hat.

Insgesamt scheinen sich die Verteilungen der Ruhehäufigkeiten aus Versuch 1 und Versuch 2 auch hinsichtlich der Lage der Maxima und Minima zu ähneln.

4.7 Veränderte Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit

Die Ergebnisse der Untersuchung zur Veränderung der Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit haben enttäuscht. Ich hatte erwartet, statt der vorliegenden Verteilungen (Abb. 7 und 14), die teilweise einer Normalverteilung entsprechen, stark differenzierte Verteilungen vorzufinden. Die Hauptgipfel hatte ich dabei immer nach 90°, eventuell auch 45° erwartet. Ich hatte vermutet, die Tiere würden ihre Sitzrichtung so ändern, daß sie sich von Vorzugsrichtung zu Vorzugsrichtung "sprungweise" ausrichten. Statt dessen findet sich erstens besonders häufig ein Beibehalten der einmal gewählten Sitzrichtung (Änderung der Sitzrichtung um 0°), zweitens sehr häufig eine kleine Korrektur der Sitzrichtung (Änderung der Sitzrichtung bis zu $\pm 30^{\circ}$) und nur drittens eine ganz leichte Tendenz für die genaue Umkehr der Sitzrichtung (Änderung um 180°).

Danach suchen die Feuerwanzen eine bestimmte Vorzugsrichtung über den vollen Kreis. Haben sie ihre Vorzugsrichtung gefunden, bleiben sie bevorzugt dabei und korrigieren sie allenfalls um wenige Grade.

5 ZUSAMMENFASSUNG

1. Feuerwanzen bevorzugen und meiden bestimmte Sitzrichtungen.
2. Sitzrichtungen in den lichtabgewandten Halbkreis werden häufiger gewählt als solche in den lichtzugewandten Halbkreis. Mit steigender Lichtintensität verstärkt sich diese Aufteilung; zugleich ändert sich die charakteristische Häufigkeitsverteilung lichtbezogener Sitzrichtungen.
3. Je stärker das Licht wird, desto stärker werden die Feuerwanzen zum Laufen angeregt.
4. Magnetfeldbezogene Sitzrichtungen lassen eine Bevorzugung der 4 Haupthimmelsrichtungen und der 4 Zwischenrichtungen 1. Ordnung dazu erkennen. Besonders häufig sitzen Feuerwanzen dabei in Richtung Norden.
5. Je geringer die Lichtstärke wird, desto stärker tritt die Magnetfeldorientierung hervor.
6. Bei Rechts-Links-Richtungsänderungen zeigt sich eine Bevorzugung von links.
7. Versuchstiere, die sich für rechts oder links entschieden haben, laufen auch nach einer Stunde bevorzugt in der gleichen Richtung. Umkehrungen der Laufrichtung sind jedoch möglich.
8. Nach einer Stunde Ruhezeit sitzen Feuerwanzen bevorzugt in der gleichen Richtung wie zuvor; Abweichungen von 10° bis 30° dazu sind häufiger als solche von 40° bis 180°, die alle etwa gleich häufig vorkommen, jedoch mit steigender Tendenz gegen 180° (Umkehr der Sitzrichtung).
9. Tiere, die auch nach einer Stunde Ruhezeit die gleiche Sitzrichtung wie zuvor einnehmen, verteilen sich nicht gleichmäßig auf die 36 Versuchsplätze. Diese Verteilung ist symmetrisch bezogen auf die Nord-Süd-Achse.

Literaturverzeichnis

AUTRUM, H. und I. WIEDEMANN (1962): Versuche über den Strahlengang im Insektenauge (Appositionsauge). Z. Naturforsch. 17b, 480-482.

AUTRUM, H. und U. SEIBT (1965): Die Dunkeladaptation des Bienenauges. Naturwiss. 52, 566.

BARNWELL, F.H., F.A. BROWN jr. (1961): Magnetic and Photic Responses in Snails. Separatum Experienta 17, 513, 1-7.

BÄSSLER, U. (1962): Zum Einfluß von Schwerkraft und Licht auf die Ruhestellung der Stabheuschrecke (Carausius morosus). Z. Naturforsch. 17b, 477-480.

BAUERS, C. (1953): Der Fixierbereich des Insektenauges. Z. vergl. Physiol. 34, 589-605.

BECKER, G. (1963a): Magnetfeld-Orientierung von Dipteren. Naturwiss. 50, 664.

- (1963b): Ruheeinstellung nach der Himmelsrichtung, eine Magnetfeldorientierung bei Termiten. Naturwiss. 50, 455.

- und U. SPECK (1964): Untersuchungen über die Magnetfeldorientierung von Dipteren. Z. vergl. Physiol. 49, 301-340.

- (1965): Zur Magnetfeld-Orientierung von Dipteren. Z. vergl. Physiol. 51, 135-150.

BENNET, M.F. and J. HUGUENIN (1969): Geomagnetic Effects on a Circadian Difference in Reaction Times in Earthworms (Lumbricus terrestris).Z. vergl. Physiol. 63, 440-445.

BIRUKOW, G. (1954): Photo-Geomenotaxis bei Geotrupes silvaticus Panz. und ihre zentralnervöse Koordination. Z. vergl. Physiol. 36, 176-211.

- (1955): Über den Einfluß der Höhe einer Lichtquelle auf die Lichtkompaßorientierung des Mistkäfers Geotrupes silvaticus Panz. Naturwiss. 42, 349-350.

- (1956): Lichtkompaßorientierung beim Wasserläufer Velia currens F. (Heteroptera) am Tage und zur Nachtzeit. Z. Tierpsychol. 13, 463-484.

BIRUKOW, G. (1964): Aktivitäts- und Orientierungsrhythmik beim Kornkäfer (Calandra granaria L.) Z. Tierpsychol. 21, 279-301.

BOVET, J. (1962): Influence d'un effet directional sur le retour au gîte des Mulots fauve et sylvestre (Apodemus flavicollis Melch. et glareolus Schr.). Z. Tierpsychol. 19, 472-488.

- (1965): Ein Versuch, wilde Mäuse unter Ausschluß optischer, akustischer und osmischer Merkmale auf Himmelsrichtungen zu dressieren. Z. Tierpsychol. 22, 839-859.

BROWN, jr. F.A. (1962): Response of the Planarian, Dugesia, and the Protozoan, Paramecium, to very Weak Horizontal Magnetic Fields. Biol. Bull. Vol. 123, No 2, 264-281.

-,A. FRANK, M. WEBB, and F. BARNWELL (1964): A Compass Directional Phenomenon in Mud-Snails and its Relation to Magnetism. Biol. Bull. Vol. 127, No 2, 206-220.

-,F. BARNWELL, and M. WEBB (1964): Adaptation of the Magnetoreceptive Mechanism of Mud-Snails to Geomagnetic Strength. Biol. Bull. Vol. 127, No 2, 221-231.

DOLLEY, W. (1916): Reactions to Light in Vanessa antiopa, with special reference to Circus Movements. J. Exp. Zoöl. 20, 357-420.

ECKERT, M. (1968): Hell-Dunkel-Adaptation in aconen Appositionsaugen der Insekten. Zool. Jb. Physiol. 74, 102-120.

FROMME, H. (1961): Untersuchungen über das Orientierungsvermögen nächtlich ziehender Kleinvögel (Erithacus rubecula, Sylvia communis.). Z. Tierpsychol. 18, 209-220.

GUTHERZ, S. (1921): Beobachtungen und Versuche zur Fortpflanzung von Pyrrhocoris apterus L. Sitzungsbericht Ges. naturforsch. Freunde Nr. 1-3, 47-51.

HAMDORF, K. und A. KASCHEF (1965): Adaptation beim Fliegenauge. Z. vergl. Physiol. 51, 67-95.

HENKE, K. (1924): Die Färbung und Zeichnung der Feuerwanze (Pyrrhocoris apterus L.) und ihre experimentelle Beeinflußbarkeit. Z. vergl. Physiol. 1, 247-499.

HERTER, K. (1923): Untersuchungen über den Temperatursinn der Feuerwanze (Pyrrhocoris apterus L.). Biol. Zentralblatt 43, 27-30.

- (1924): Untersuchungen über den Temperatursinn einiger Insekten. Z. vergl. Physiol. 1, 221-288.

JANDER, R. (1963): Grundleistungen der Licht- und Schwereorientierung von Insekten. Z. vergl. Physiol. 47, 381-430.

KÄSTNER, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Band 1, 2. Teil, Fischer, Stuttgart 1967.

-: Lehrbuch der Speziellen Zoologie. Band 1, 3. Teil A, Fischer, Stuttgart 1972.

KUHN, O. (1926): Die Facettenaugen der Landwanzen und Zikaden. Z. Morph. Ökol. Tiere 5, 489-558.

LINDAUER, M. und H. MARTIN (1968): Die Schwereorientierung der Bienen unter dem Einfluß des Erdmagnetfeldes. Z. vergl. Physiol. 60, 219-243.

LINDENLAUB, E. (1955): Über das Heimfindevermögen von Säugetieren 2: Versuche an Mäusen. Z. Tierpsychol. 12, 452-458.

- (1960): Neue Befunde über die Anfangsorientierung von Mäusen. Z. Tierpsychol. 17, 555-578.

LÜDTKE, H. (1953): Retinomotorik und Adaptationsvorgänge im Auge des Rückenschwimmers Notonecta glauca L.Z. vergl. Physiol. 35, 129-152.

LUDWIG, W. (1931): Die Flügellage der Feuerwanze. Ein Beitrag zum Rechts-Links-Problem. Verh. Dtsch. Zool. Ges., 213.

MERKEL, F.; W. WILTSCHKO (1965): Magnetismus und Richtungsfinden zugunruhiger Rotkehlchen (Erithacus rubecula). Vogelwarte 23/1, 71-77.

MÜLLER, J. (1971): Feinbau und Dunkelanpassung der Komplexaugen von Rhodnius prolixus (Stal.) Zool. Jb. Physiol. 75, 111-133.

RENSING, L. (1966): Vorzugsrichtungen von Corixa punctata Illig. in polarisiertem Licht. Zool. Jb. Physiol. 72, 123-135

SEIDEL, F. (1924): Die Geschlechtsorgane in der embryonalen Entwicklung von Pyrrhocoris apterus L. Z. Morph. Ökol. Tiere 1, 429-450.

SCHMIDT-KOENIG, K. (1961): Die Sonne als Kompaß im Heimorientierungssystem der Brieftauben. Z. Tierpsychol. 18, 221-244.

SCHNEIDER, F. (1957): Neue Beobachtungen über die Orientierung des Maikäfers. Schweiz. Z. Obst- Weinbau 66, 414-415.

- (1960a): Der experimentelle Nachweis einer magnetischen und elektrischen Orientierung der Maikäfer. Verh. schweiz. naturforsch. Ges., 132-134.

- (1960b): Beeinflussung der Aktivität des Maikäfers durch Veränderung der gegenseitigen Lage magnetischer und elektrischer Felder. Mitt. schweiz. entomol. Ges. 33/4, 223-237.

- (1963a): Systematische Variation in der elektrischen, magnetischen und graphisch-ultraoptischen Orientierung des Maikäfers. Vschr. naturforsch. Ges. Zürich 108, 373-416.

- (1963b): Orientierung und Aktivität des Maikäfers unter dem Einfluß richtungsvariabler künstlicher elektrischer Felder und weiterer ultraoptischer Bezugssysteme. Mitt. schweiz. entomol. Ges. 36/1 u. 2, 1-26.

SCHULZE, P. (1916): Das Abändern der Zeichnung auf den Flügeln der Feuerwanze (Pyrrhocoris apterus L.). Sitzungsbericht Ges. naturforsch. Freunde, Berlin 10,385-395.

SEITZ, G. (1968): Der Strahlengang im Appositionsauge von Calliphora erythrocephala (Meig.). Z. vergl. Physiol. 59, 205-231.

WEHNER, R. and Th. LABHART (1970): Perception of the Geomagnetic Field in the Fly Drosophila melanogaster. Experienta, 967-968.

WILTSCHKO, W. und F. MERKEL (1965): Orientierung zugunruhiger Rotkehlchen im Statischen Magnetfeld. Verh. Dtsch. Zool. Ges., Jena, 362-367.

WILTSCHKO, W. (1968): Über den Einfluß statischer Magnetfelder auf die Zugorientierung der Rotkehlchen (Erithacus rubecula). Z. Tierpsychol. 25, 537-558.

-, H. HÖCK; F. MERKEL (1971): Outdoor Experiments with Migrating European Robins in Artificial Magnetic Fields. Z. Tierpsychol. 29, 409-415.

Verteilung ruhig sitzender Feuerwanzen bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken;Tabelle 1, Versuch 1; Tabelle 2, Versuch 3.

Tabelle 1:

1.) Watt	2.) cm	3.) Lux	4.) Anzahl	5.) ruhig	6.) in %	7.) photo-negativ	8.) in %	9.) 180° in %
40	100	33	2160	1923	89,0	1086	56,5	123
40	75	54	2160	1943	90,0	1081	55,6	137
40	50	109	2160	1845	85,4	986	53,4	144
100	100	110	2160	1832	84,8	1109	60,5	163
100	75	180	2160	1777	82,3	1017	57,2	150
100	50	315	2160	1747	80,9	973	55,7	173

Tabelle 2:

1.) Watt	2.) cm	3.) Lux	4.) Anzahl	5.) ruhig	6.) in %	7.) photo-negativ	8.) in %	9.) 180° in %
40	100	33	720	520	72,2	266	51,2	118
40	75	54	720	520	72,2	290	55,8	153
40	50	109	720	512	71,1	314	61,3	183

1.) Glühlampenstärke der zentralen Lichtquelle
2.) Radius des Versuchskreises; Entfernung: Versuchsplatz-Lichtquelle
3.) Stärke der zentralen Lichtquelle in Lux bei Aufsicht
4.) Anzahl der Messungen
5.) Ruhig sitzende Tiere
6.) Ruhig sitzende Tiere in %
7.) Photonegative Tiere; Sitzrichtungen: 100°-270°
8.) Photonegative Tiere in % von den ruhig sitzenden Tieren
9.) Gipfel bei 180° in % von erwarteter Häufigkeit bei Gleichverteilung

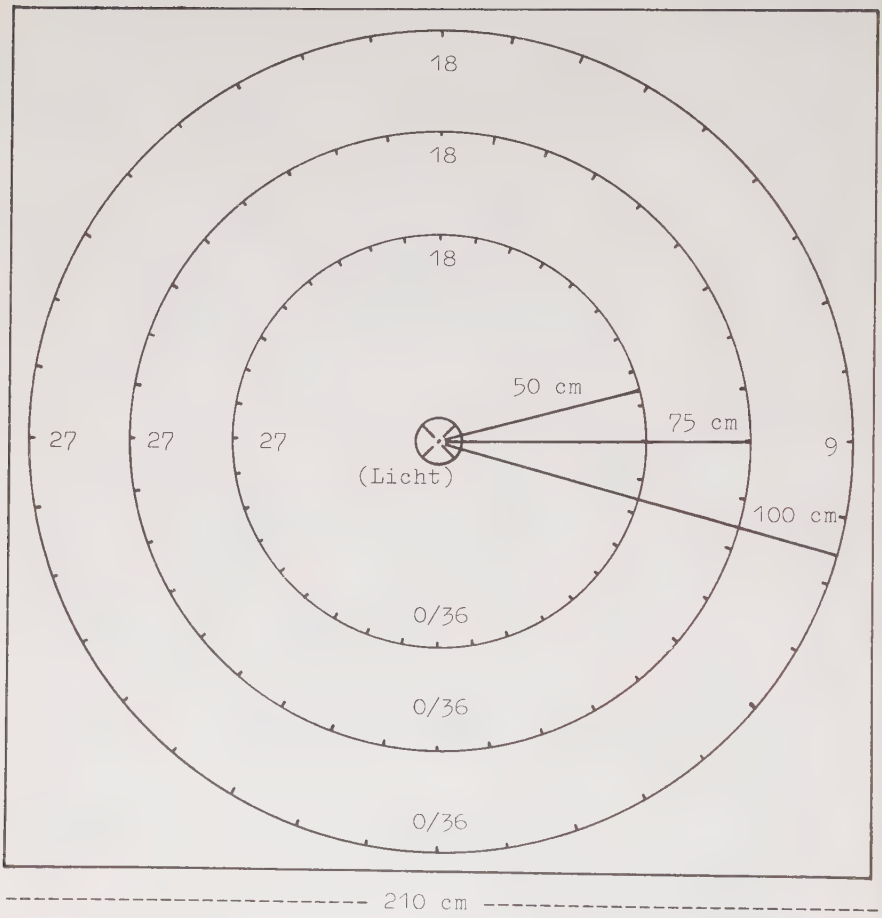

Abb. 1: Schaubild der Versuchsarena mit den drei konzentrischen Kreisen mit 50 cm, 75 cm und 100 cm Radius um die gemeinsame Lichtquelle (Licht). Je Versuchskreis die Versuchsplätze 1 bis 36 im Abstand von 10°. Von den Versuchsplätzen 0/36 liegt die Lichtquelle (Licht) genau im Norden, von den Versuchsplätzen 18 im Süden, usw.

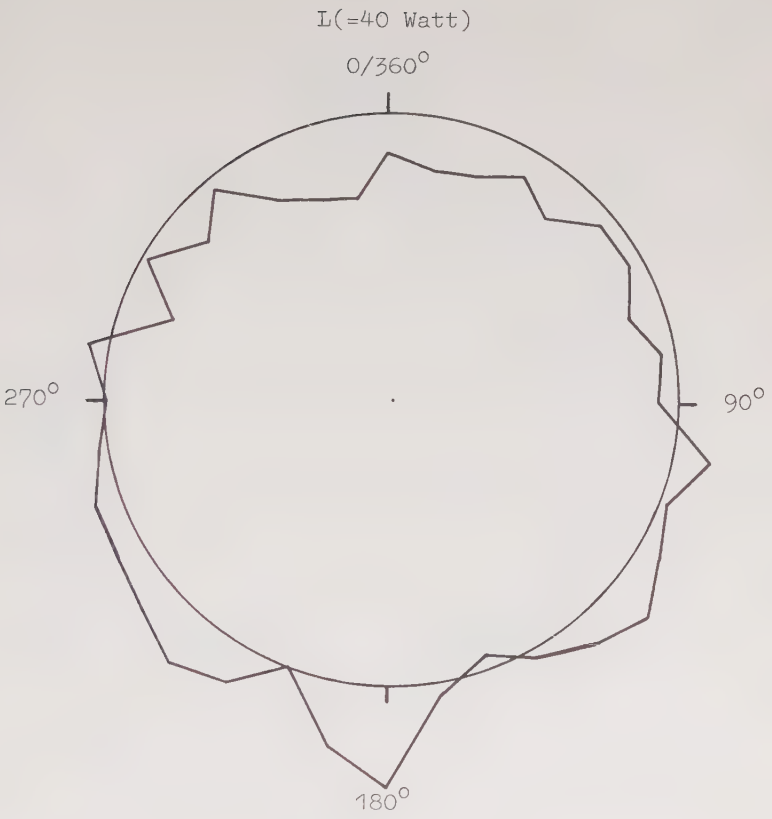

Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L) 40 Watt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 5711, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 158,6; Versuch 1.

Der eingezeichnete Kreis mit dem Radius $\overline{M}$ ($\overline{M}$=N:36) entspricht hier und in den folgenden Abbildungen einer Verteilung ohne ablenkende Außeneinflüsse, also einer Gleichverteilung.

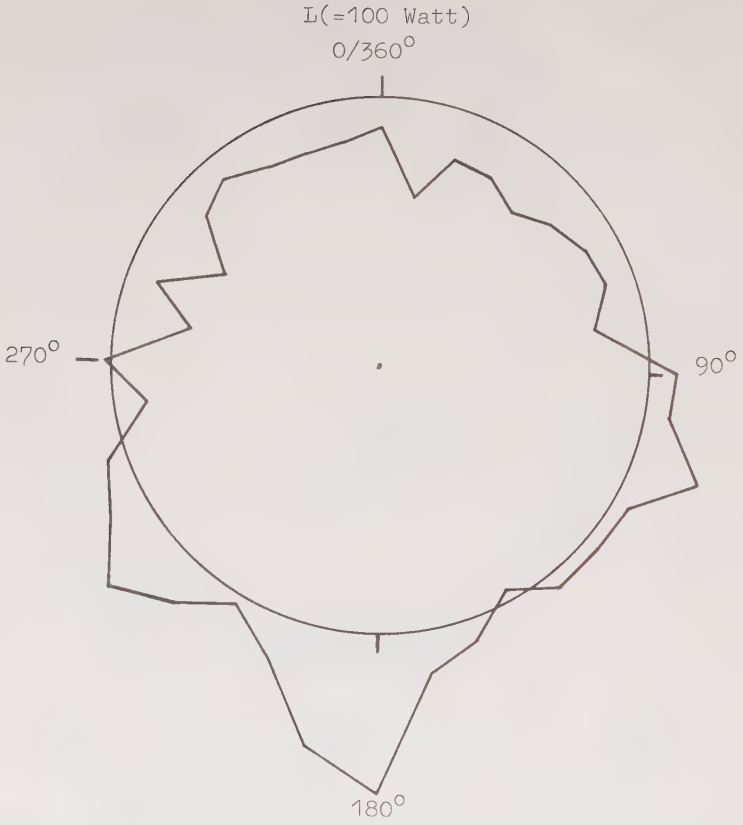

Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L) 100 Watt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 5356, Mittelwert (Kreis) M = 148,8; Versuch 1.

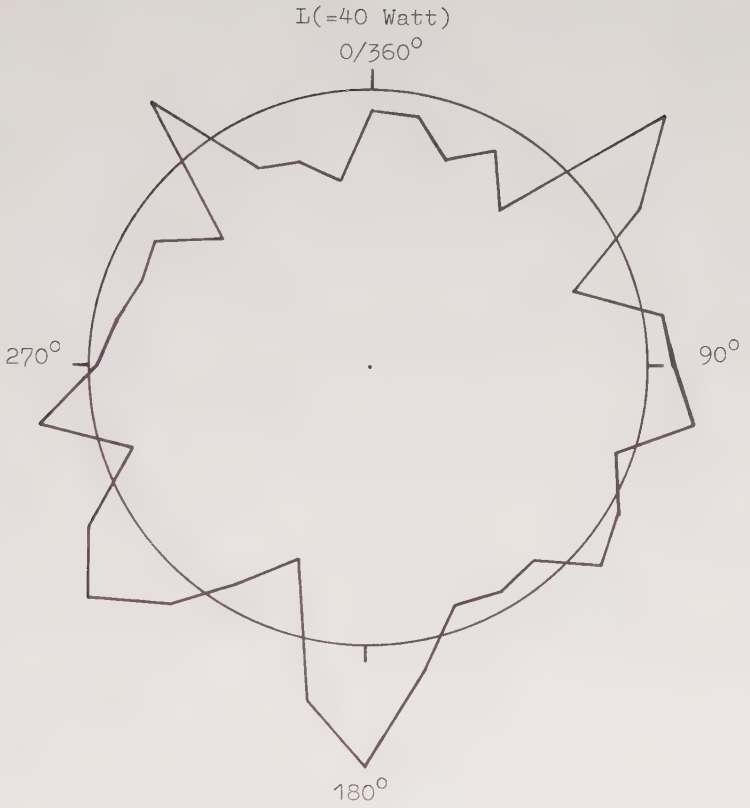

Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L) 40 Watt; nur von dem Versuchskreis mit 50 cm Radius. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 1845, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 51,3; Versuch 1.

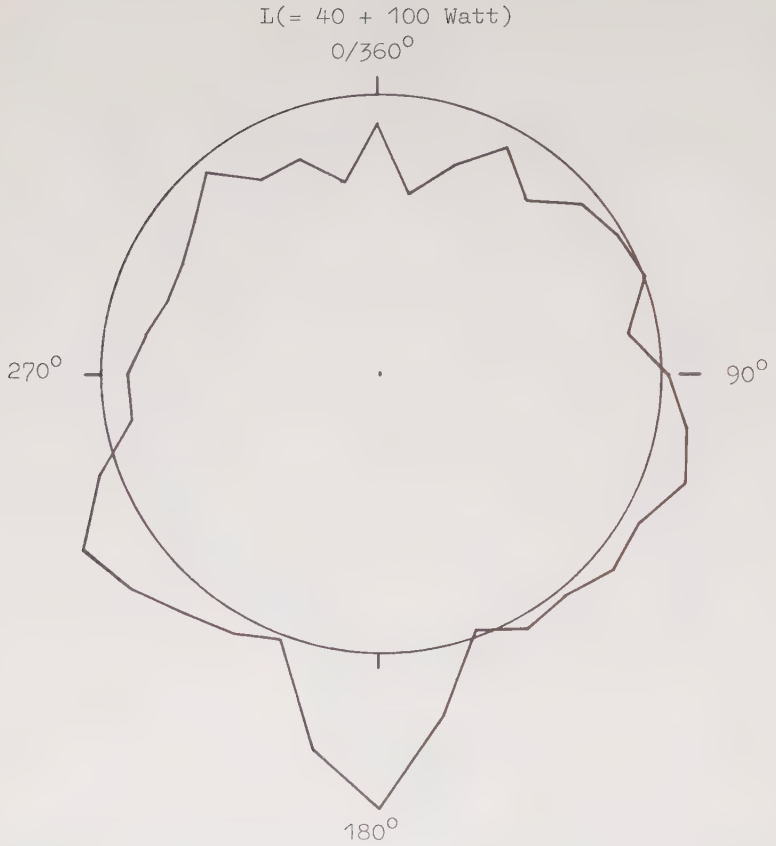

Abb. 5: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L); alle Messungen 1 zusammengefaßt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 5575, Mittelwert (Kreis) $\bar{M}$ = 154,9; Versuch 1.

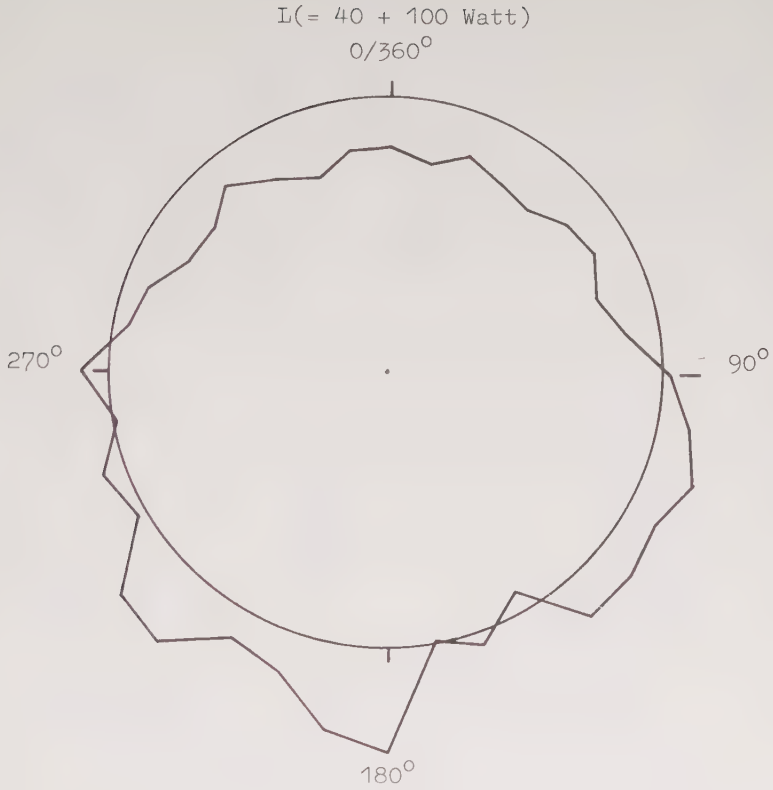

Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L); alle Messungen 2 zusammengefaßt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 5492, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 152,8; Versuch 1.

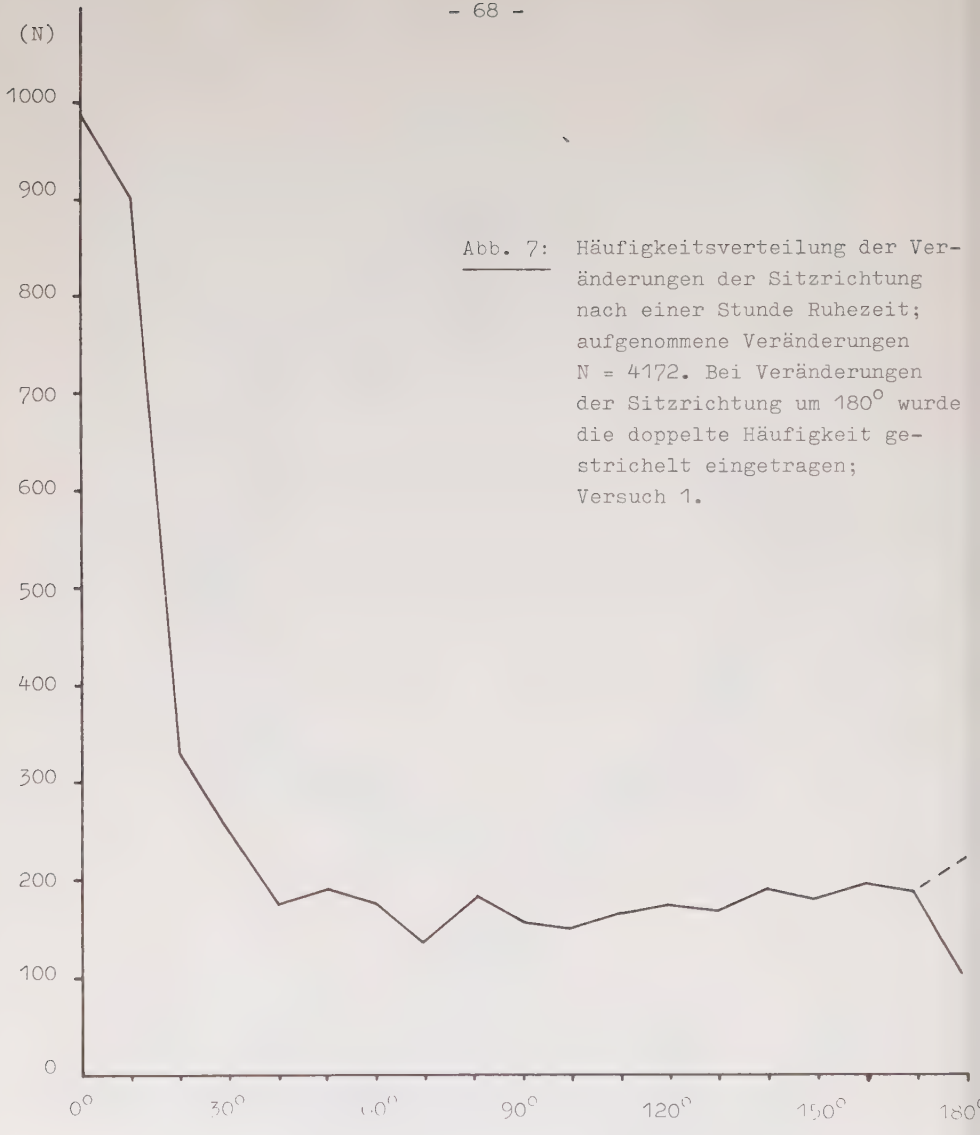

Abb. 7: Häufigkeitsverteilung der Veränderungen der Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit; aufgenommene Veränderungen N = 4172. Bei Veränderungen der Sitzrichtung um 180° wurde die doppelte Häufigkeit gestrichelt eingetragen; Versuch 1.

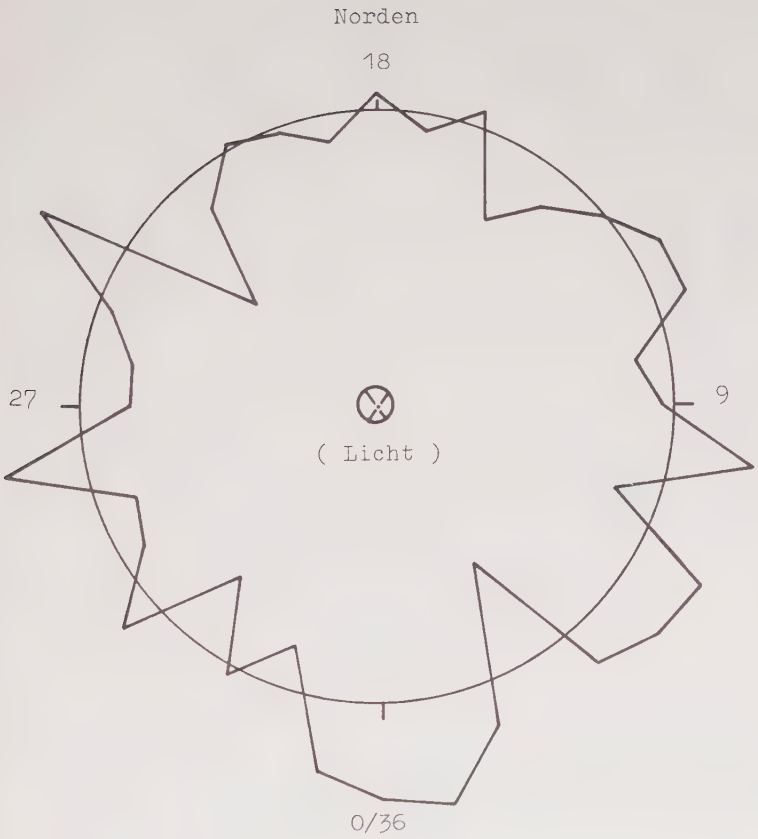

Abb. 8: Häufigkeit pro Versuchsplatz der Tiere, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung wie zuvor einhalten. Versuchsplatz 0/36 liegt von der zentralen Lichtquelle aus im Süden, Platz 18 im Norden, usw. Aufgenommene Ruhewerte N = 989, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 27,5; Versuch 1.

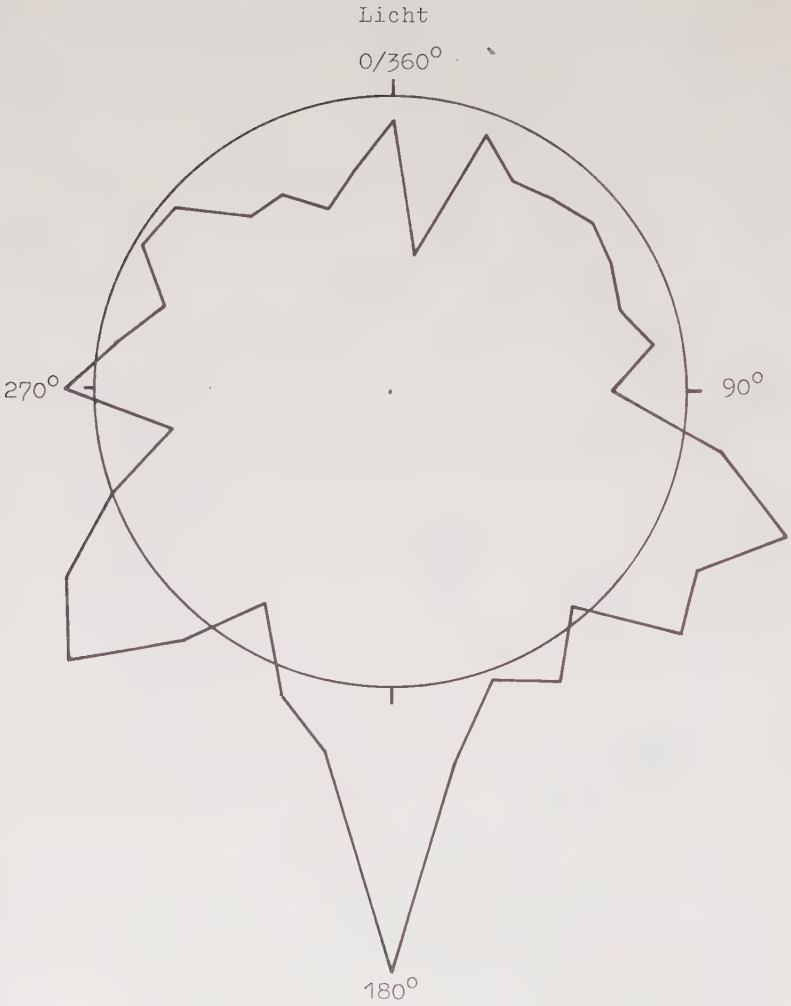

Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen von allen Tieren, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung einhalten; bezogen auf die zentrale Lichtquelle (Licht). Aufgenommene Sitzrichtungen N = 989, Mittelwert (Kreis) $\bar{M}$ = 27,5; Versuch 1.

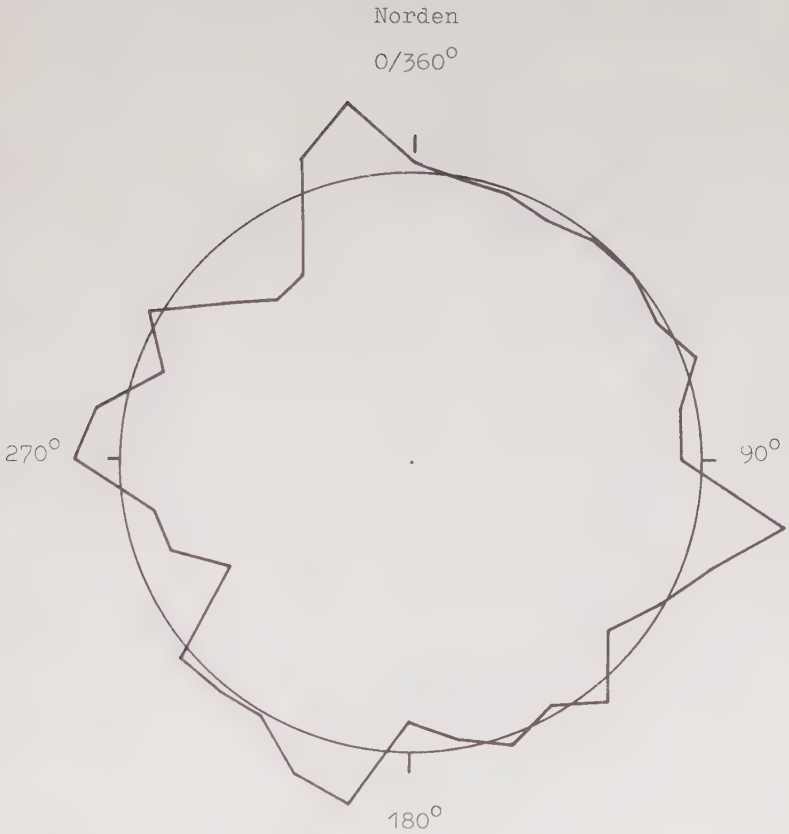

Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld; zentrale Glühlampe 40 Watt, Versuchskreis mit 100 cm Radius. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 1923, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 53,4; Versuch 1.

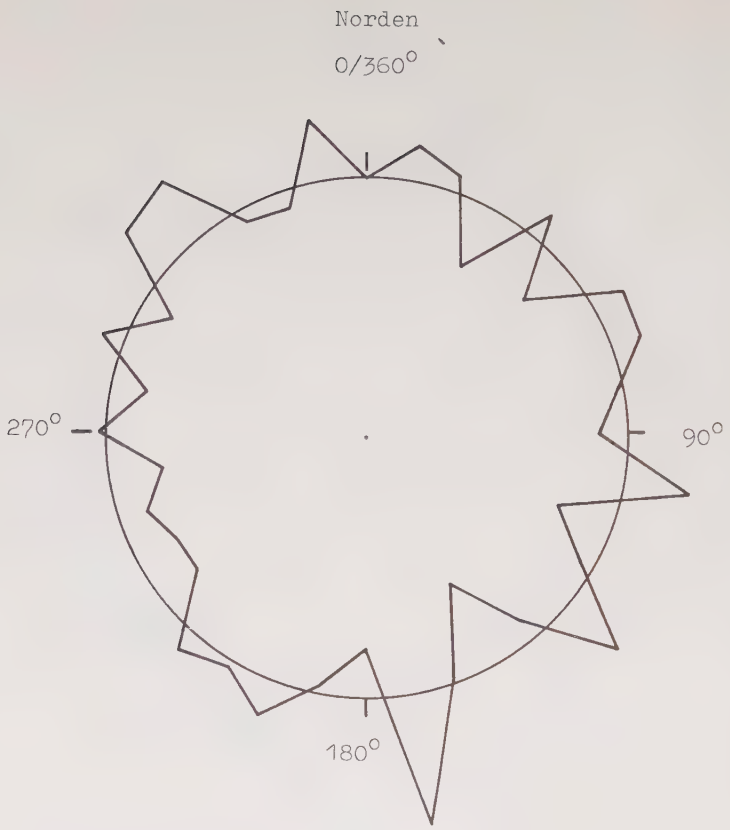

Abb. 11: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld; zentrale Glühlampe 100 Watt, Versuchskreis mit 50 cm Radius. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 1747, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 48,3; Versuch 1.

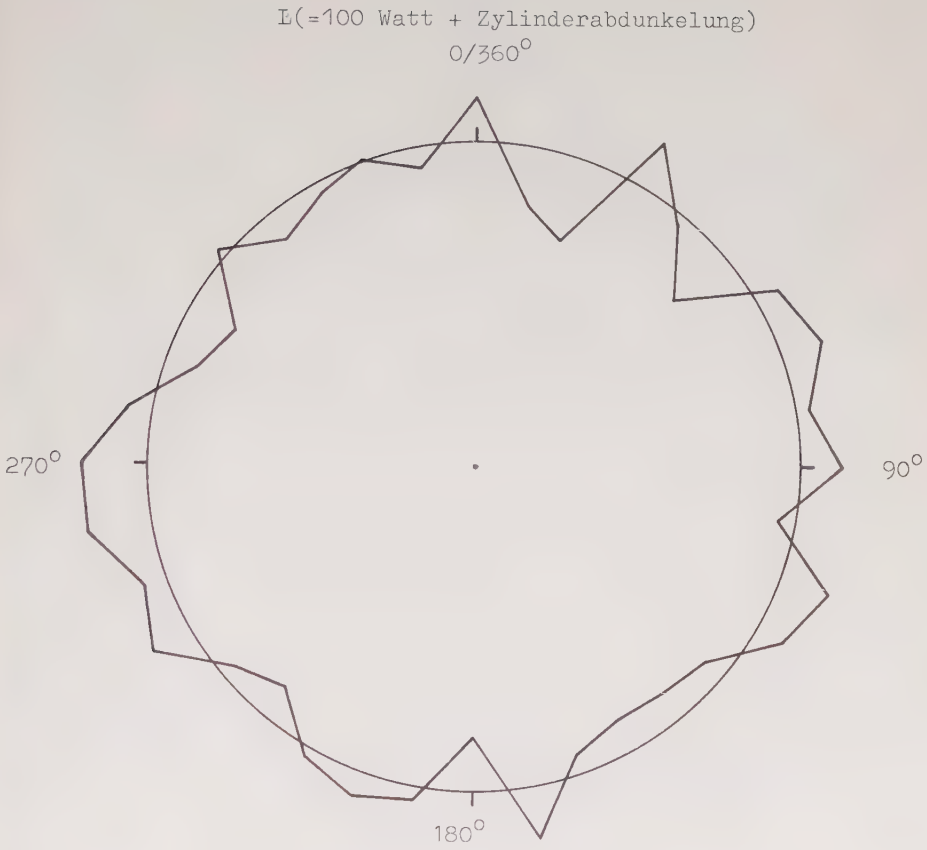

Abb. 12: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L), die durch Plastikzylinder verdeckt war. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 4360, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 121,1; Versuch 2.

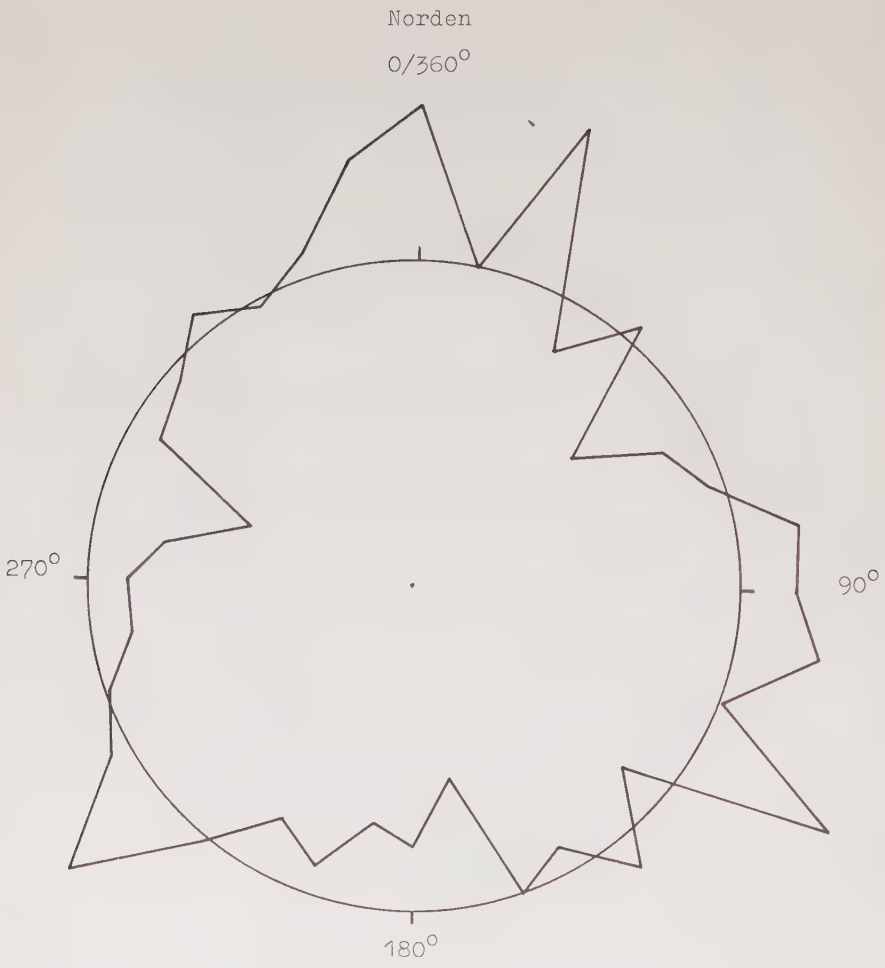

Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld. Die zentrale Lichtquelle war durch Plastikzylinder verdeckt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 4360, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 121,1; Versuch 2.

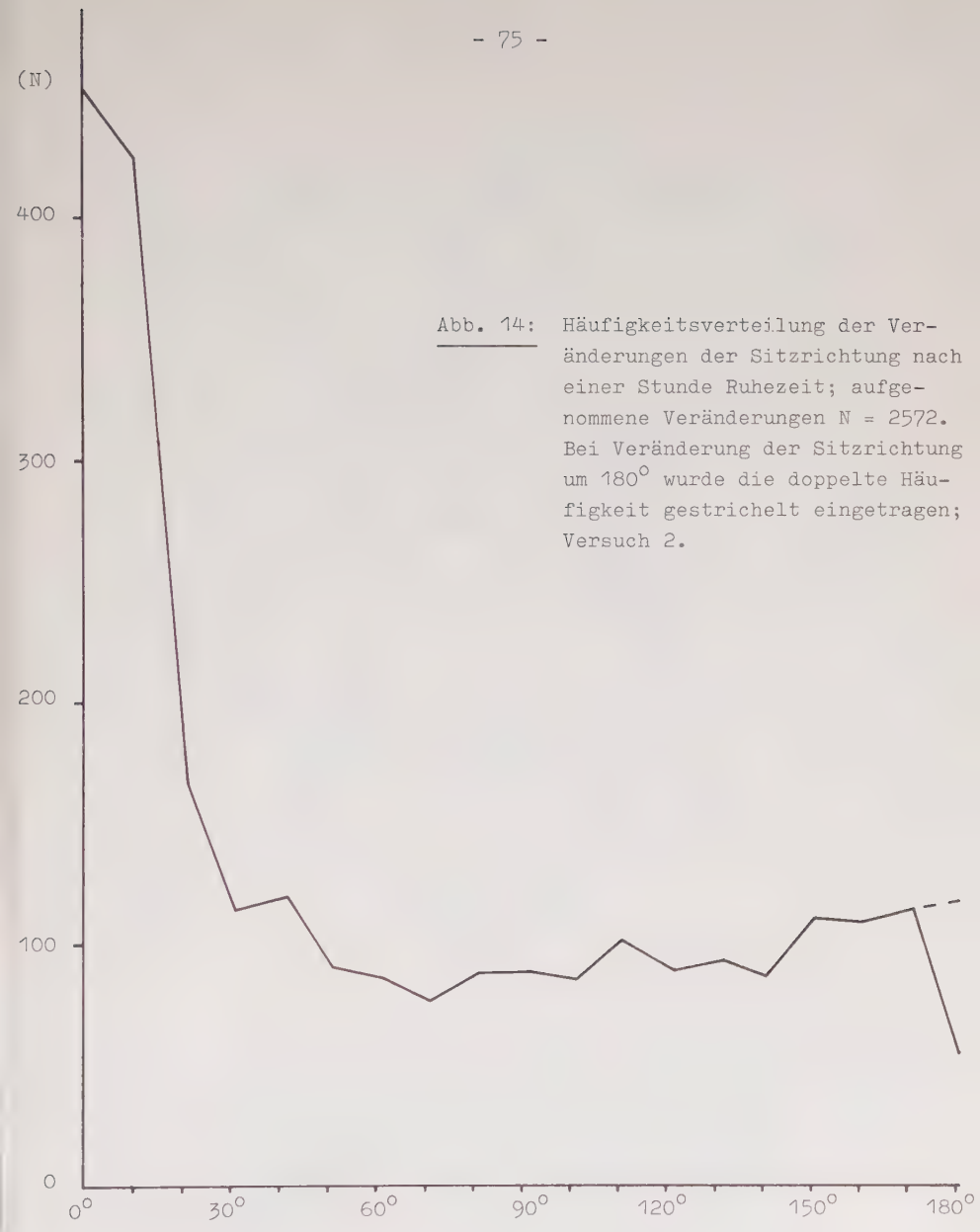

Abb. 14: Häufigkeitsverteilung der Veränderungen der Sitzrichtung nach einer Stunde Ruhezeit; aufgenommene Veränderungen N = 2572. Bei Veränderung der Sitzrichtung um 180° wurde die doppelte Häufigkeit gestrichelt eingetragen; Versuch 2.

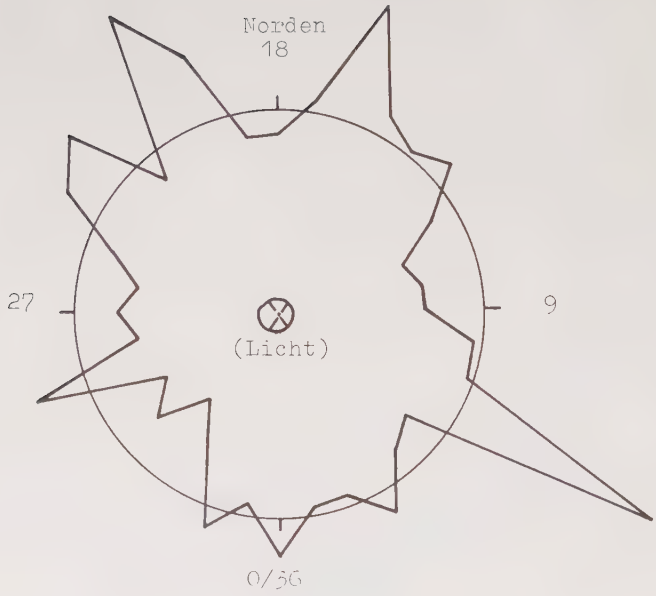

Abb. 15: Häufigkeit pro Versuchsplatz der Tiere, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung wie zuvor einhalten. Versuchsplatz 0/36 liegt von der zentralen Lichtquelle aus im Süden, Platz 18 im Norden, usw. Aufgenommene Ruhewerte N = 453, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 12,6; Versuch 2.

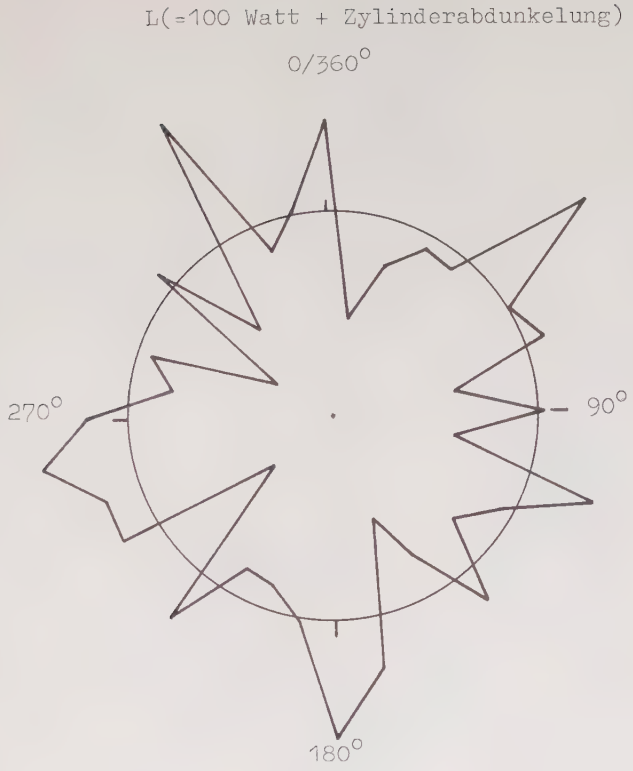

Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen von allen Tieren, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung einhalten; bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L), die durch Plastikzylinder verdeckt war. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 453, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 12,6; Versuch 2.

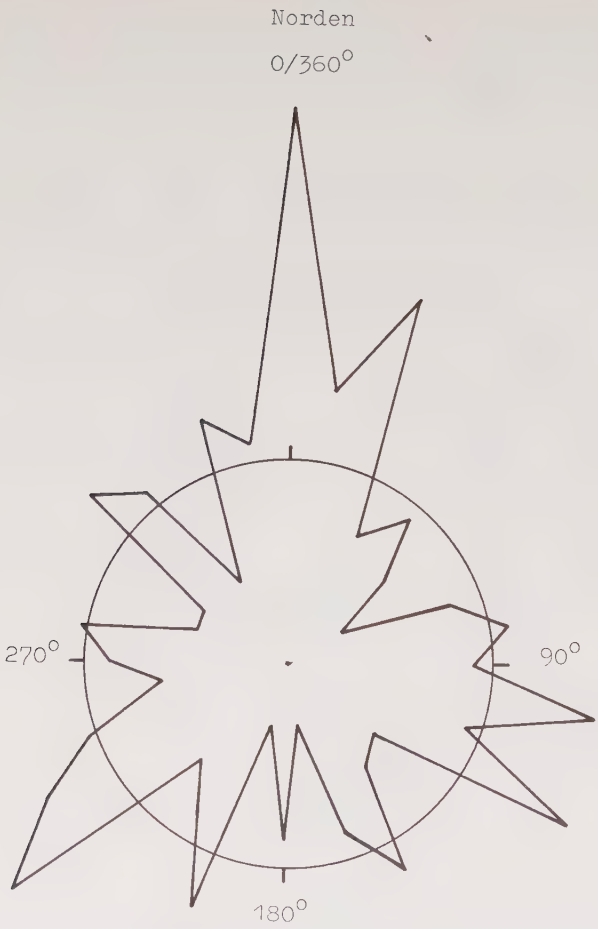

Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld; von allen Tieren, die auch nach einer Stunde die gleiche Sitzrichtung wie zuvor einhalten. Die zentrale Lichtquelle war durch Plastikzylinder verdeckt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 453, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 12,6; Versuch 2.

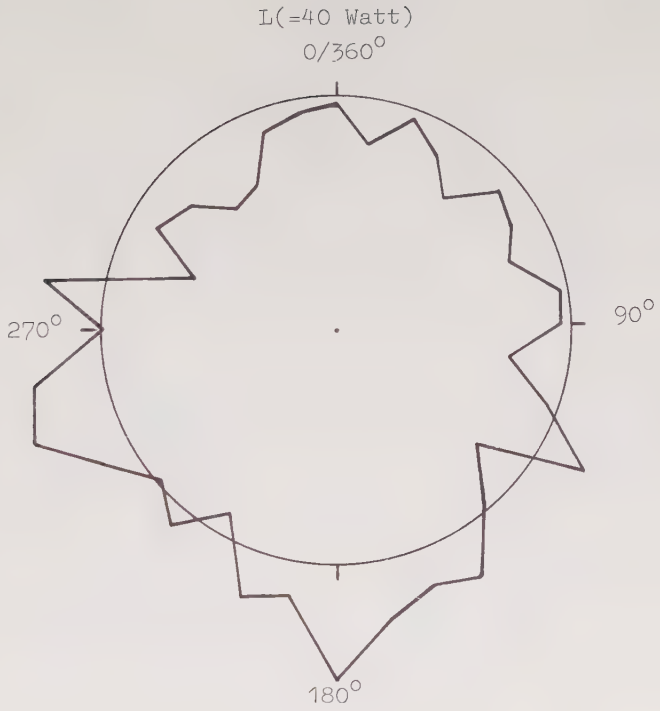

Abb. 18: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L) 40 Watt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 1552, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 43,1; Versuch 3.

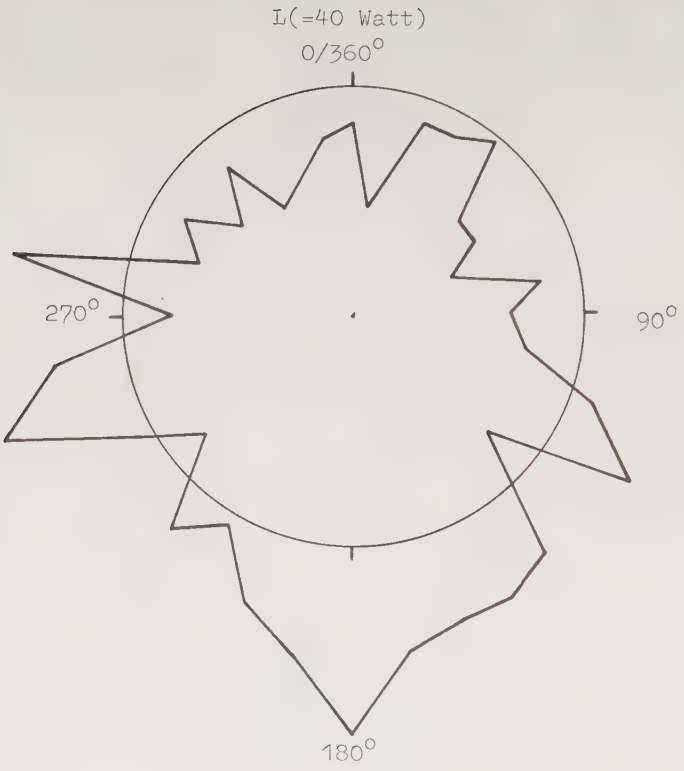

Abb. 19: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf die zentrale Lichtquelle (L) 40 Watt, von dem Versuchskreis mit 50 cm Radius. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 512, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 14,2; Versuch 3.

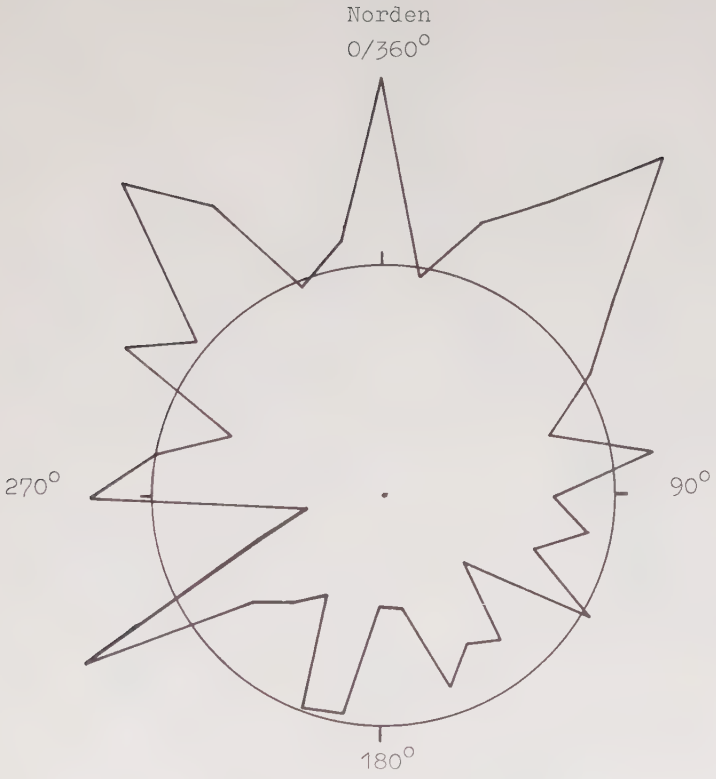

Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf das Erdmagnetfeld, von dem Versuchskreis mit 50 cm Radius; zentrale Lichtquelle 40 Watt. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 512, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 14,2; Versuch 3.

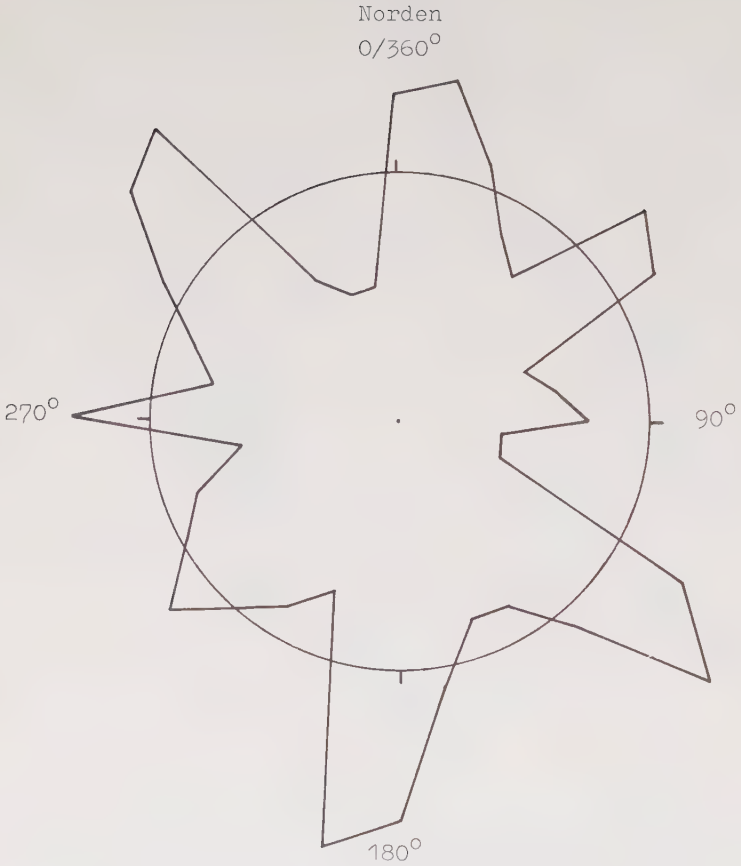

Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf ein künstliches Magnetfeld von weniger als 1/10 der Stärke des natürlichen Feldes. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 333, Mittelwert (Kreis) $\bar{M}$ = 9,25; Versuch 4,1.

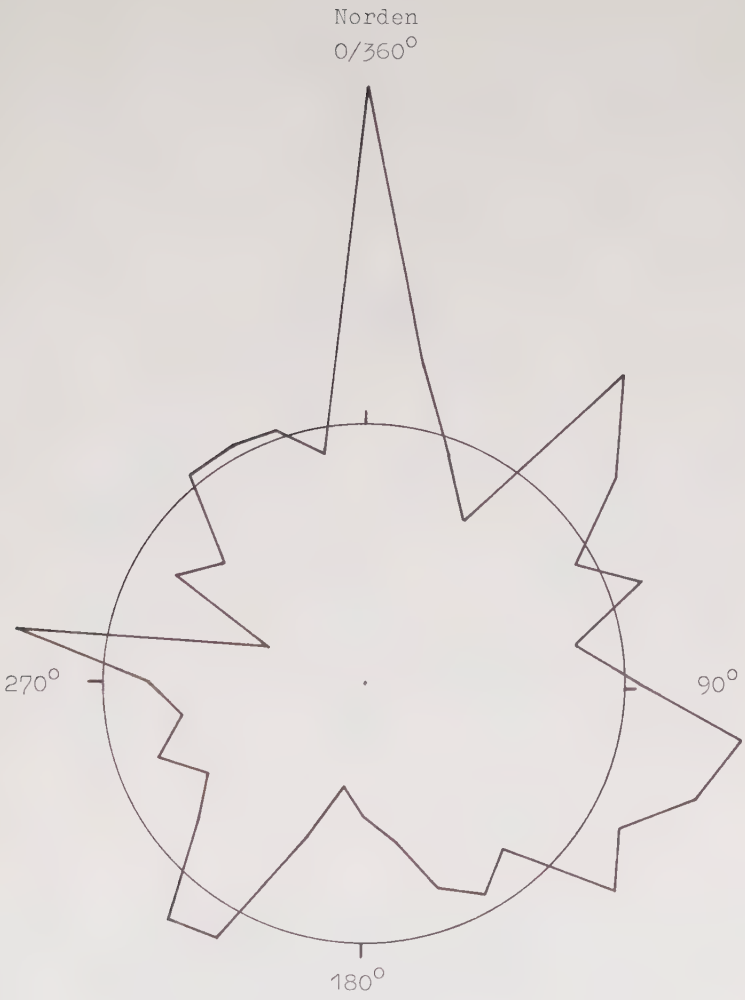

Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf ein künstliches Magnetfeld von weniger als 1/10 der Stärke des natürlichen Feldes. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 344, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 9,6; Versuch 4,3.

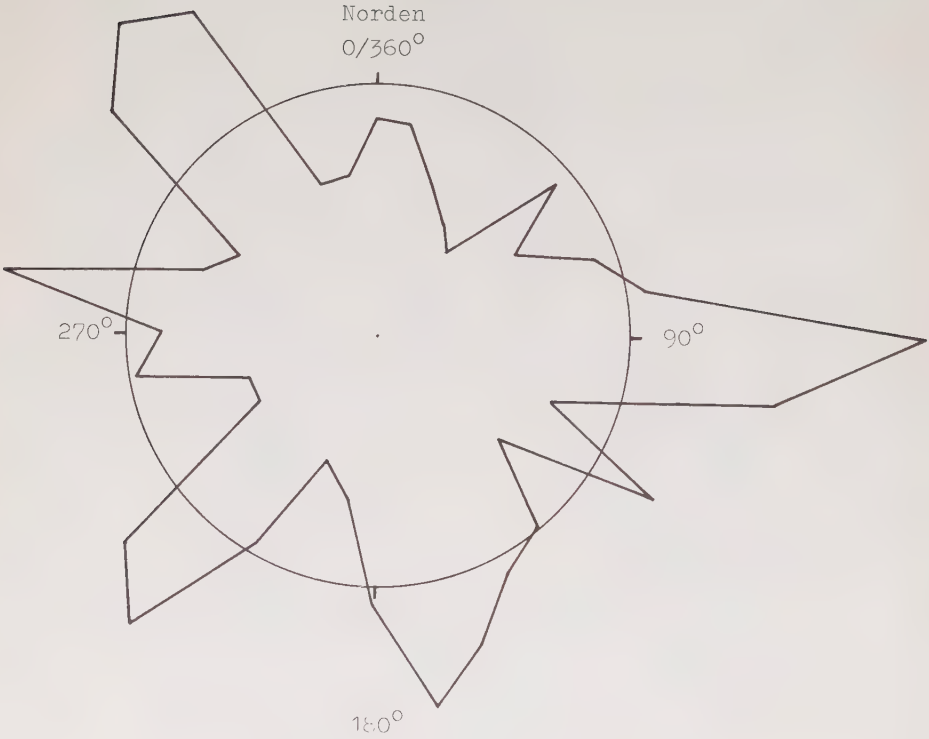

Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf ein künstliches Magnetfeld von weniger als 1/10 der Stärke des natürlichen Feldes. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 334, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 9,3; Versuch 4,5.

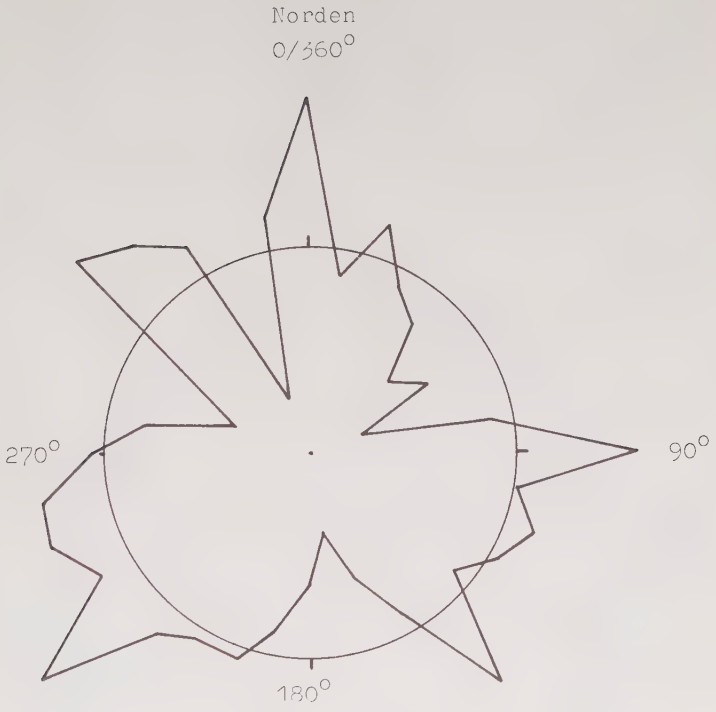

Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf ein künstliches Magnetfeld von weniger als 1/10 der Stärke des natürlichen Feldes. Aufgenommene Sitzrichtungen N = 274, Mittelwert (Kreis) $\overline{M}$ = 7,6; Versuch 4,6.

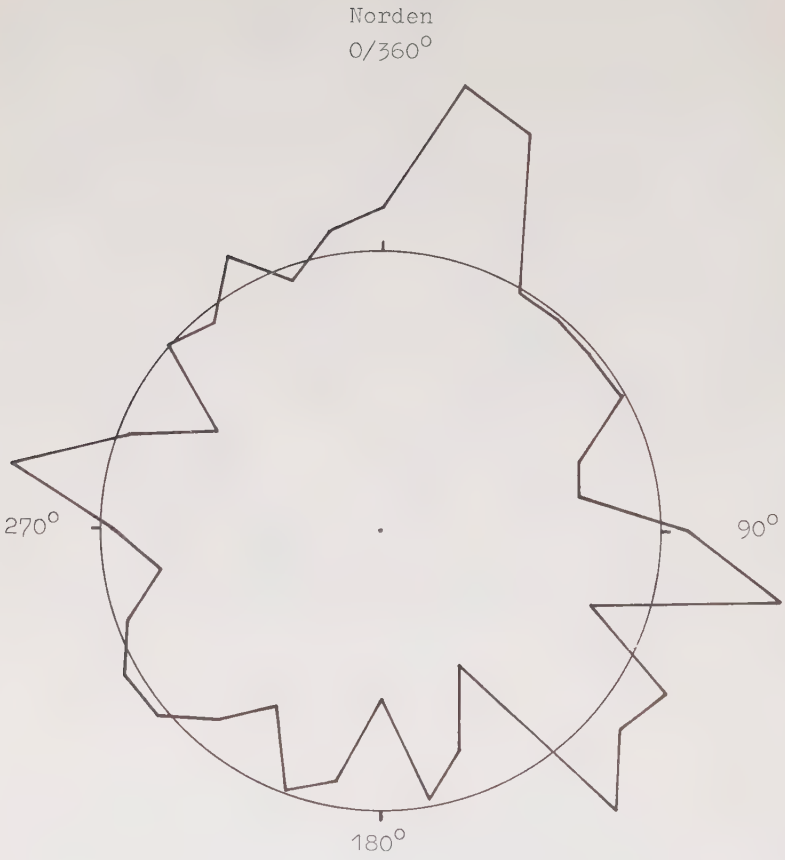

Abb. 25: Häufigkeitsverteilung der Sitzrichtungen bezogen auf ein künstliches Magnetfeld von weniger als 1/10 der Stärke des natürlichen Feldes. Aufgenommene Sitzrichtungen $N = 1243$, Mittelwert (Kreis) $\overline{M} = 34{,}5$; Versuch 5.

Herrn Prof. Dr. G. Birukow danke ich herzlich für die Arbeitsmöglichkeit, die freundliche Überlassung von Arbeitsgeräten, für Kritik und stete Anregungen im Gespräch.

LEBENSLAUF

Zur Person:

Hartmut Reiner Uloth, geboren am 9. Juli 1936 in Kassel, als erster von zwei Söhnen des Schreinermeisters Ludwig Uloth und seiner Ehefrau, der Kindergärtnerin und Hortnerin Luise Uloth, geborene Lenz.
1965 Heirat mit der Realschullehrerin Lieselotte Uloth, geborene Baun.
1969 Geburt der Tochter Birga Ulrike Uloth.
Staatsangehörigkeit: Deutsch.

Ausbildung:

Im Herbst 1943 Einschulung in Kolberger Deep bei Kolberg/Pommern. Im gleichen Jahr Umschulung nach Michelsberg, Krs. Ziegenhain/Hessen. Nach drei Jahren Umschulung nach Todenhausen, ebenfalls Krs. Ziegenhain. 1949 Umzug nach Kassel und Umschulung auf die Bürgerschule Kassel-Kirchditmold; dies alles in direkter Folge von Kriegs- und Nachkriegseinflüssen.

Ostern 1952 Schulabschluß und Beginn einer kaufmännischen Großhandelslehre; Besuch der kaufmännischen Berufsschule. Nach drei Jahren, Ostern 1955, Abschluß der Lehre. Im Herbst des gleichen Jahres Eintritt in das Abendgymnasium Kassel und Besuch dieser Schule für sechs Jahre. Währenddem gleichzeitig Berufstätigkeit; zunächst als kaufmännischer Angestellter einer Importagentur, dann als Karteiführer bei Henschel & Sohn und während der letzten 3 1/2 Jahre Verwaltungsangestellter im öffentlichen Dienst. Im Herbst 1961 Reifeprüfung und Aufnahme des Studiums der Zoologie. Daneben Studien in Nachbarfächern und anderen Disziplinen, davon insbesondere Wirtschafts- und Erziehungswissenschaften.
Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft im I. Zool. Institut.
Promotionsarbeit unter Leitung von Herrn Prof. Dr. G. Birukow.